

## Обоснование винтовой поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера

*И.Е. Припоров, к.т.н, ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина*

Прогрессивным технологическим процессом в комбикормовом производстве является экструзия комбикормов и их компонентов, которая обеспечивает высокую их сохранность и повышенную продуктивность животных [1].

Экструзия – обработка зерна под действием высокого давления и температуры, способствующая повышению усвояемости питательных веществ. Для экструдирования зерна используется пресс-экструдер типа КМЗ-2 [2] и его модификации.

В.В. Новиков предложил разделить на четыре зоны шнек пресс-экструдера КМЗ-2 [3]:

1. Загрузка материала, интенсивное его перемешивание, перемешивание вдоль оси шнека и начало уплотнения;
2. Повышение давления и уплотнение материала с сохранением его сыпучих свойств;
3. Смесь приобретает вязкопластическое состояние за счёт повышения давления и температуры, которая возрастает 400–430К. Карбамид, находящийся в смеси, плавится, поглощается бентонитом и массой клейстеризованного крахмала;
4. Вязкопластическая масса продавливается через регулируемые отверстия матрицы, которая ножом экструдера разрезается на гранулы с последующим охлаждением до 298–330К.

Проведённые теоретические исследования, представленные В.Ю. Фроловым [2], показали, что шнек должен иметь переменный уменьшающийся шаг по мере передвижения вдоль его оси. При этом происходит уплотнение обрабатываемого кормового материала (ОКМ), и он подходит к кондиции, близкой к способности принимать необходимую форму в соответствии с требованиями к процессу.

Непостоянство физико-механических свойств смеси, поступающей на экструдирование, вызывает колебание давления внутри пресс-экструдера, нестабильность процесса. Получаемый продукт имеет неоднородный состав и свойства и, как следствие – повышенную энергоёмкость [4].

**Цель исследования.** Для уменьшения энергоёмкости рабочего процесса необходимо обосновать винтовую поверхность шнека переменного шага пресс-экструдера в виде параметрических уравнений с точки зрения его изготовления.

**Материал и методы исследования.** Рассмотрим рабочий процесс шнека переменного шага пресс-экструдера с учётом допущений, сделанных В.Ю. Фроловым [3]:

1) обрабатываемый кормовой материал на основе подсолнечного жмыха движется вдоль оси шнека в виде сплошной неразрывной среды и за один его оборот перемещается на один шаг винтовой поверхности;

2) площадь поперечного сечения ОКМ на основе подсолнечного жмыха перпендикулярна оси шнека и является квазипостоянной. В связи с этим, чем меньше шаг витка, тем объём, занимающий одно и то же количество массы, уменьшается при одном и том же угле его поворота, увеличивается его уплотнение, и масса быстрее доходит до требуемых концентраций.

**Результаты исследования.** Шаг витка определяется по выражению:

$$t = a t_i,$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности ( $a > 1$ );  
 $t_i$  – шаг  $i$ -х витков, м.

Принимаем уменьшение шага по мере поворота шнека на угол  $\varphi$ , равный:

$0^\circ$  (исходное положение)

$$t = b;$$

$360^\circ$  (1 оборот)

$$t_1 = b \quad t = b \cdot a;$$

$720^\circ$  (2 оборота)

$$t_2 = t_1 a = a_2 b$$

$1080^\circ$  от первоначального положения (3 оборота);

$$t_3 = t_2 a = a_3 b;$$

$1440^\circ$  (4 оборота)

$$t_4 = t_3 a = a_4 b.$$

При повороте шнека переменного шага на угол  $\varphi = 360N$  шаг витка будет равен:

$$t_N = a t_{N-1} = a^N b. \quad (1)$$

Для определения характера винтовой линии шнека переменного шага пресс-экструдера рассмотрим равномерное поступательное вращение

точки  $M$  вокруг оси  $z$  против часовой стрелки (рис. 1). Полученная траектория точки  $M$  является винтовой линией [2].

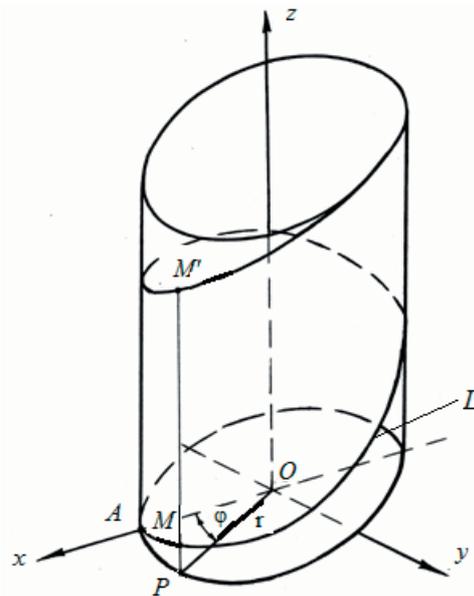


Рис. 1 – К выводу параметрических уравнений винтовой поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера

За параметр, определяющий положение точки  $M$  [2], был принят угол поворота  $\varphi = 360N$ , образованный между осью  $x$  и проекцией  $OP$  (рис. 1). Координаты  $x$  и  $y$  точки  $M$  совпадают с точкой  $P$ , а вертикальное перемещение  $z$  растёт пропорционально углу поворота  $\varphi = 360N$ , т.е.

$$z = Ct_N.$$

Тогда вертикальное перемещение с учётом выражения (1) будет равно:

$$z = C \cdot a^N b.$$

Параметрические уравнения винтовой линии шнека переменного шага пресс-экструдера с учётом допущений, представленных в работе В.Ю. Фролова, примут вид:

$$x = r \cos \varphi; \quad y = r \sin \varphi; \quad z = C \varphi. \quad (2)$$

Если величина  $C \neq \text{const}$ , т.е.  $C = C(\varphi)$  [2], параметрические уравнения (2) винтовой линии с учётом выражения (3) примут следующий вид:

$$C = \frac{a^N \cdot b}{2\pi},$$

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \cdot \sin \varphi, \quad z = \frac{a^N \cdot b}{2\pi} \varphi. \quad (3)$$

Параметрические уравнения (4) описывают винтовую линию шнека переменного шага пресс-экструдера при его повороте на угол  $\varphi = 360N$ .

Если  $C = \text{const}$  и является некоторой функцией  $C(\varphi)$  угла поворота  $\varphi = 360N$ , то параметрические уравнения винтовой поверхности шнека переменного шага [2] с учётом выражения (3) примут вид:

$$\begin{aligned} x &= f(u) \cos \varphi; \quad y = -f(u) \sin \varphi; \\ z &= \psi(u) + \frac{a^N \cdot b}{2\pi} \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

В качестве образующей  $L$  винтовой поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера (рис. 1) были выбраны кривые.

На шнеке переменного шага пресс-экструдера будем различать две винтовые поверхности – верхнюю, нижнюю (рис. 2) [2]. Верхней и нижней винтовыми поверхностями  $P_1$  и  $P_2$  В.Ю. Фролов назвал поверхности, образованные соответственно верхней и нижней кривыми  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 2), определяемые внешними нормальными  $n_1$  и  $n_2$  в любой точке, составляющие угол с положительным направлением оси  $z$ . Они направлены в верхнее и нижнее полупространства соответственно по отношению к касательной плоскости, проходящей через точку.

Наиболее технологичным с точки зрения изготовления будет являться шнек с переменным шагом. На нём верхняя  $P_1$  и нижняя  $P_2$  поверхности с образующими  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 3) соответственно являются прямыми, которые перпендикулярны оси  $z$  и описываются уравнениями [2]:

$$x_{1,2} = u = r; \quad z_{1,2} = \frac{\Delta b}{2}, \quad (5)$$

при  $\Delta b = \text{const}, R_1 \geq u \geq R_2$ .

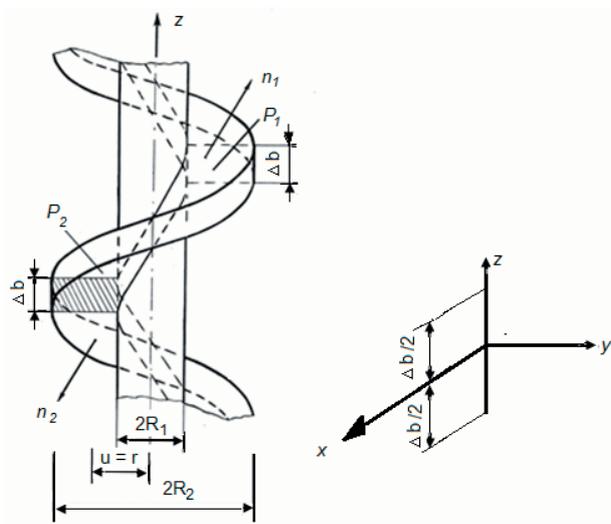


Рис. 2 – К обоснованию выбора винтовых поверхностей шнека переменного шага пресс-экструдера с точки зрения технологичности их изготовления

Верхняя и нижняя винтовые поверхности  $P_1$  и  $P_2$  соответственно описываются уравнениями с учётом допущений, сделанных В.Ю. Фроловым [2], и выражения (3) примут вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= u \cos \varphi; \quad y_1 = u \sin \varphi; \quad z_1 = \frac{\Delta b \cdot a^N \cdot b}{4\pi} \cdot \varphi; \\ x_2 &= u \cos \varphi; \quad y_2 = u \sin \varphi; \quad z_2 = \frac{\Delta b \cdot a^N \cdot b}{4\pi} \cdot \varphi. \end{aligned}$$

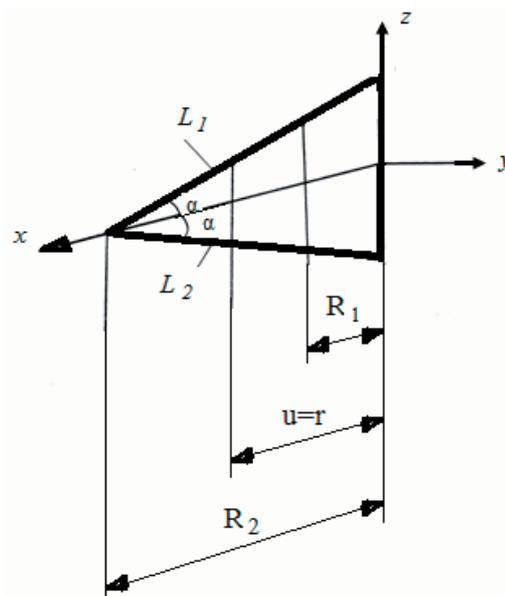


Рис. 3 – К определению уравнений поверхностей вращения шнека переменного шага пресс-экструдера

В продольном осевом сечении профиль шнековой поверхности образует прямоугольник наподобие профиля прямоугольной резьбы с переменным шагом. Такой шнек был назван с прямоугольным поперечным сечением, площадь которого составляет  $(R_2 - R_1) \cdot \Delta b$  [2].

Поверхностью вращения для винтовой является [2]:

$$x = u \cos \varphi; \quad y = u \sin \varphi; \quad z = \psi(u).$$

Поверхность вращения для рассматриваемых винтовых имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= u \cos \varphi; \quad y = u \sin \varphi; \quad z = d, \\ (R_2 &\geq u \geq R_1). \end{aligned} \quad (7)$$

где  $d = \pm \frac{\Delta b}{2}$  для верхней и нижней поверхностей

$P_1$  и  $P_2$  соответственно.

Из уравнений (6) следует, что поверхность вращения является часть круга, расположенного в горизонтальной плоскости и ограниченного окружностями радиусами  $R_2$  и  $R_1$ .

Винтовые поверхности (5) наложены на плоское кольцо с внешним и внутренним радиусами соответственно, которые являются технологичными.

Технологичными являются поверхности, в которых образующая  $L_1$  является прямой, составляющей угол с осью  $z$  (рис. 3) [2].

Для  $L_1$  и  $L_2$  [2] уравнения поверхностей вращения шнека переменного шага пресс-экструдера с учётом выражения (7) описываются следующим видом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(d_K - d_H)}{a^N b(z-1) + \sum_1^Z \Delta b}, \quad (8)$$

$$x_{1,2} = u(z);$$

$$z_{1,2} = \pm(R_2 - u) \frac{2(r_K - r_H)}{a^N b(z-1) + \sum_1^Z \Delta b}, \quad (9)$$

где  $z$  – количество витков шнека по длине вала;  
 $\Delta b$  – ширина витка шнека в нормальном сечении, м.

Винтовые поверхности вращения  $P_1$  и  $P_2$  шнека переменного шага пресс-экструдера для образующих  $L_1$  и  $L_2$  [3] с учётом выражения (7) описываются параметрическими уравнениями:

$$x_{1,2} = u \cos \varphi; \quad y_{1,2} = u \sin \varphi;$$

$$z_{1,2} = \pm(R_2 - u) \frac{2(r_K - r_H)}{a^N b \cdot (z-1) + \sum_1^Z \Delta b},$$

а с учётом выражений (3) и (5), окончательно примут вид:

$$x_{1,2} = r \cos \varphi; \quad y_{1,2} = r \sin \varphi. \quad (10)$$

**Выводы.** Винтовые поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера описываются параметрическими уравнениями (9) и являются технологичными с учётом рациональных конструктивных параметров и угла поворота ( $\varphi = 360/N$ ), позволяющие увеличить уплотнение ОКМ на основе подсолнечного жмыха с меньшей энергоёмкостью рабочего процесса.

Подсолнечный жмых получают путём экструдирования целых семян, имеющих определённые

физико-механические свойства [5–7], полученных на воздушно-решётных зерноочистительных машинах [8, 9].

### Литература

1. Новиков В.В. Экспериментальное обоснование рациональных параметров модернизированного экструдера КМЗ-2,0У / В.В. Новиков, В.В. Коновалов, Л.В. Иноземцева, Д.В. Беляев // Нива Поволжья. 2010. № 4. С. 48–51.
2. Фролов В.Ю. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи высококачественных кормов на малых фермах: дисс. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 2002. 302 с.
3. Фролов В.Ю. Теоретические и экспериментальные аспекты разработки технологий и технических средств, приготовления концентрированных кормов на основе соевого белка. Краснодар: КубГАУ, 2010. 140 с.
4. Коновалов В.В., Орси И.Л., Успенская И.В. Оптимизация конструктивно-технологических параметров направителя пресс-экструдера по неравномерности давления в зоне загрузки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2(30). С. 161–165.
5. Припоров И.Е. Использование подсолнечного жмыха в рационе крупного рогатого скота // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 5 (15). С. 184–187.
6. Шафоростов В.Д., Припоров И.Е. Влияние толщины, ширины и индивидуальной массы семян подсолнечника на скорость их витания. Масличные культуры // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2010. № 1 (142–143). С. 76–80.
7. Припоров И.Е. Механико-технологическое обоснование процесса разделения компонентов вороха семян подсолнечника на воздушно-решётных зерноочистительных машинах. Краснодар: КубГАУ, 2016. 212 с.
8. Трубилин Е.И., Припоров И.Е. Технические средства для послеуборочной обработки семян подсолнечника: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2015. 237 с.
9. Припоров И.Е., Шафоростов В.Д., Припоров И.Е. Эффективная очистка семян подсолнечника // Сельский механизатор. 2014. № 1 (59). С. 15.