

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ЭКСТРУДИРУЕМОГО ПРОДУКТА В КАНАЛЕ ШНЕКА

Качество смешения продукта в шнековом канале можно оценить деформацией сдвига. В статье получена зависимость для определения деформации сдвига в шнековом канале, которую можно использовать при составлении математической модели процесса экструдирования материалов растительного происхождения при определении параметра эффекта, характеризующего качество смешения продукта в шнековом прессующем механизме

В настоящее время процесс экструдирования нашел широкое применение для производства продуктов питания. Это объясняется тем, что экструдеры позволяют совместить ряд операций в одной машине: перемешивать, сжимать, нагревать, варить, стерилизовать, формовать обрабатываемый полуфабрикат. Однако не все из перечисленных процессов имеют адекватное аналитическое описание. В частности для целей математического моделирования процесса экструдирования требуется создание способов прогнозирования результата процесса смешения при экструдировании кормов.

В качестве параметра, описывающего смешение, можно использовать деформацию сдвига изучаемой среды [1]. Определим основную компоненту деформации сдвига, возникающую в прессуемом материале, движущемся в шнековом канале пресса-экструдера. Для этого необходимо решить задачу движения прессуемого материала в канале шнека.

В канале шнекового механизма прессуемый материал движется по полости сложной конфигурации. Эту полость при исследовании обычно заменяют более простой, используя геометрические свойства цилиндрических поверхностей разворачиваться на плоскости. Таким образом, полость канала шнекового механизма можно заменить парой параллельных плоскостей, между которыми движется прессуемый материал.

Будем считать, что прессуемый материал имеет свойства псевдопластического тела, реологическое уравнение течения которого опи-

сывается уравнением Оствальда-де Вилля [2], связывающим напряжение сдвига τ_{xy} со скоростью сдвига $\dot{\gamma}_x$ (см. рисунок),

$$\tau = \mu' \dot{\gamma}_x^n, \quad (1)$$

где μ' — коэффициент консистенции материала;

n — индекс течения, характеризующий отклонение свойств данного материала от свойств ньютоновской жидкости.

Рассмотрим установившееся движение прессуемого материала между двумя бесконечными параллельными пластинами, полученными разверткой пары контактных с прессуемым материалом коаксиальных цилиндрических поверхностей шнекового цилиндра и шнека, нижняя из которых неподвижна, а верхняя движется со скоростью V_c . Систему координат выберем, как показано на рисунке 1.

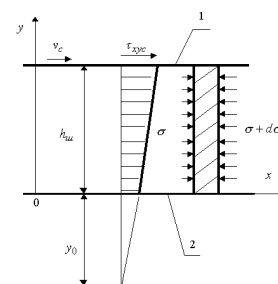


Рисунок 1 - Схема модели шнекового канала:

1- плоскость, замещающая шнековый цилиндр;
2 – плоскость, замещающая дно шнекового канала.

Объемными силами, возникающими при движении материала, пренебрегаем по сравнению с величиной напряжений, возникающих в материале при прессовании. Необходимое для пластического течения материала между контактными поверхностями напряжение сдвига τ_{xy} в принятой нами модели прессующего механизма было определено С.А. Бостанджияном и А.М. Столиным [3] в виде

$$\tau_{xy} = \frac{d\sigma}{dx}(y - y_0), \quad (2)$$

где y_0 – координата, где касательные напряжения в прессуемом материале равны нулю;

$$\frac{d\sigma}{dx} \text{ – градиент давления в канале}$$

шнека.

Будем предполагать, что прессуемый материал движется без проскальзывания по контактными поверхностям рабочих органов. Тогда с учетом направления касательного напряжения $\tau < 0$ уравнение (2) преобразуется в уравнение

$$\dot{\gamma}_x = \frac{dv}{dy} = a_{uu} (y - y_0)^{\frac{1}{n}}, \quad (3)$$

где v – скорость движения прессуемого материала в канале шнека;

$$a_{uu} = \left(\frac{1}{\mu'} \right)^{\frac{1}{n}} \left| \frac{d\sigma}{dx} \right|^{\frac{1}{n}}. \quad (4)$$

Ранее было показано [4], что при экструдировании комбикормов в канале шнека скорость сдвига $\dot{\gamma}_x$ не изменяет своего знака. Это означает, что $\dot{\gamma}_0 < 0$.

Решая уравнение (3) при начальных условиях $v = 0$ при $y = 0$, получим распределение скоростей в канале шнека

$$v = \frac{a_{uu}}{b} \left[(y - y_0)^b - (-y_0)^b \right],$$

где

где

$$b = \frac{n+1}{n}. \quad (6)$$

Неизвестную величину y_0 определим из уравнения (5) подстановкой начальных условий $v = v_c$ при $y = h_{uu}$. Таким образом, если известен градиент давления и реологические свойства экструдированного материала, можно получить распределение скоростей сдвига в канале по зависимости (3).

Величину деформации сдвига определим из предположения постоянства режима движения прессуемого материала в канале шнека зависимостью

$$\gamma = \dot{\gamma}t, \quad (7)$$

где t – время движения слоя в канале шнека.

Учитывая, что время движения слоя в канале шнека определено зависимостью

$$t = \frac{s}{v}, \quad (8)$$

где s – путь движения слоя прессуемого материала в канале шнека.

Величина пути s связана с координатой y зависимостью, определяющей протяженность развертки на плоскость соответствующей винтовой линии,

$$s = \sqrt{p_x^2 + \pi^2 (D_c - 2h_{uu} + 2y)^2}, \quad (9)$$

где p_x – шаг винтовой линии канала шнека;

D_c – диаметр цилиндра шнекового корпуса;

h_{uu} – глубина шнекового канала.

Подставляя в выражение (7) зависимости (3), (8), (5) и (9), получим искомое значение деформации сдвига в шнековом канале

$$\gamma = b(y - y_0)^{b-1} \frac{\sqrt{p_x^2 + \pi^2 (D_c - 2h_{uu} + 2y)^2}}{(y - y_0)^b - (-y_0)^b}. \quad (10)$$

Следует отметить, что деформация сдвига в канале шнека не зависит непосредственно от градиента давления и коэффициента консистенции прессуемого материала.

Полученная зависимость (10) может быть использована при составлении математической модели процесса экструдирования материалов растительного происхождения при оп-

ределении параметра эффекта, характеризующего качество смешения продукта в шнековом прессующем механизме.

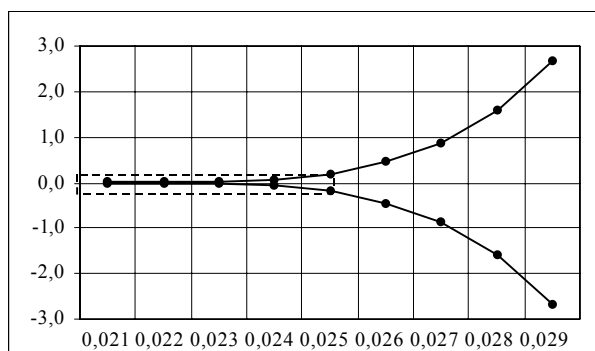


Рисунок 2 - Диаграмма изменения деформации сдвига по радиусу цилиндрического канала шнека

На рис. 2 приведена диаграмма изменения деформации сдвига по радиусу цилиндра шнекового корпуса с диаметром $D_c = 0,058 м$ и глубиной шнекового канала $h_{ш} = 0,008 м$. Для удобства сравнения диаграмм начало координат в канале перенесено на серединную плоскость канала. При построении этих диаграмм было принято, что комбикорм имеет индекс течения $n = 0,233$.

Вид данной диаграммы неизменен при шагах винтовой линии канала шнека P_x равных 0,016; 0,024; 0,032; 0,040 и 0,048 м, что говорит о незначительном влиянии шагов витков шнека в этом диапазоне на деформацию сдвига. На диаграмме выбрана область для дальнейшего подробного изучения, граничными точками которой является $r = 0,025 м$ и $\gamma = 0,3$.

Список использованной литературы

- Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. - Л.: Химия, 1975. - 232 с.
- Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник /Под ред. Ю.А. Мачихина. - М.: Агропромиздат, 1990. - 271 с.
- Бостанджиян С.А., Столин А.М. Течение неньютоновской жидкости между двумя параллельными плоскостями. Известия АН СССР, Механика, 1965, N 1. - С. 185-188.
- Зубкова Т.М. Исследование и оптимальное проектирование одношнековых прессующих механизмов экструдеров. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Оренбург: ОГУ, 1997. - 22 с.