

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЭКСТРУДИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Для определения качества смешения продукта в шнековом канале может быть использован параметр деформация сдвига. Наибольшее распространение при экструдировании материалов растительного происхождения получили цилиндрические каналы фильер, поэтому в статье получена зависимость для определения деформации сдвига в канале цилиндрической фильеры. Также в статье приведены диаграммы изменения деформации сдвига по радиусу каналов фильер с различными длинами.

Движение экструдруемого материала через канал фильеры приводит к его перемешиванию. Оценка этого процесса необходима при проектировании матриц прессов-экструдеров, а также при выборе режимов экструзии многокомпонентных полуфабрикатов. Использование математического моделирования для оптимизации процесса экструдирования требует разработки методов прогнозирования процесса смешения в различных областях рабочего пространства, в том числе в каналах матрицы. В качестве параметра, описывающего смешение, можно использовать деформацию сдвига экструдруемой среды [1]. Наибольшее распространение при экструдировании материалов растительного происхождения получили цилиндрические каналы фильер, поэтому определим основную компоненту деформации сдвига в таком канале матрицы пресса-экструдера.

Свойства рассыпного мелкозернистого корма удовлетворительно описываются реологической моделью псевдопластического материала, удовлетворяющего уравнению Оствальда - де Виля (2), которое при течении в цилиндрическом канале можно записать в виде

$$\tau = \mu' \dot{\gamma}^n = \mu' \left(\frac{du}{dr} \right)^n, \quad (1)$$

где μ' – коэффициент консистенции материала;
 n – индекс течения;
 $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига материала;
 u – локальная скорость течения на расстоянии радиуса r от оси канала;
 τ – напряжение сдвига.

Рассмотрим течение прессуемого материала, находящегося в цилиндрическом канале матрицы с диаметром $D = 2R$ и длиной z_n в цилиндри-

ческой системе координат $O r \varphi z$. Начало координат выберем в плоскости выходного отверстия. Ось Oz направлена по оси симметрии канала в сторону входного отверстия (рисунок 1).

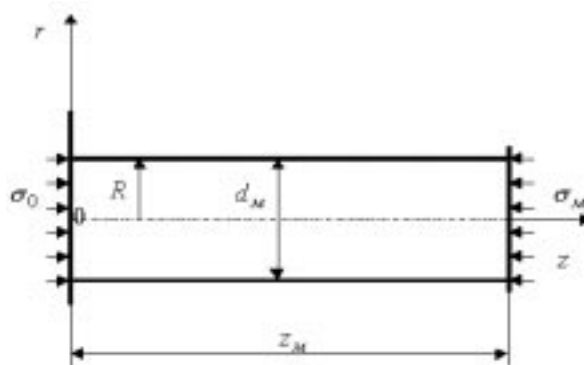


Рисунок 1 - Схема канала фильеры матрицы экструдера.

Объемными силами, возникающими при движении прессуемого материала, пренебрегаем по сравнению с напряжениями, возникающими при прессовании материала. Требуется определить напряжения, возникающие при установившемся течении в материале.

При такой постановке задачи уравнения движения прессуемого материала будут совпадать с дифференциальными уравнениями равновесия [2]. Для осесимметричной задачи движения материала в цилиндрическом канале дифференциальное уравнение равновесия имеет вид

$$r \frac{d\sigma}{dz} - \frac{d(r\tau_{zr})}{dr} = 0, \quad (2)$$

которое после интегрирования и определения постоянной интегрирования получит окончательный вид

$$\tau = \tau_{zr} = \frac{d\sigma}{dz} \frac{r}{2}. \quad (3)$$

Примем постоянным градиент давления

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{z_M}, \quad (4)$$

где σ_1, σ_0 – соответственно нормальные напряжения на входе в фильеру и на выходе из нее (рисунок 1);

z_M – осевая протяженность канала фильеры.

С учетом того, что $\sigma_0 = 0$, окончательно получим

$$\tau = \tau_{zr} = \frac{\sigma_1}{z_M} \frac{r}{2}. \quad (5)$$

Подставляя (1) в (5) и производя преобразования найдем, обозначая $m = \frac{1}{n}$,

$$\dot{\gamma} = a(r)^m, \quad (6)$$

где
$$a = \left(\frac{1}{2\mu'} \right)^m \left| \frac{d\sigma}{dz} \right|^m. \quad (7)$$

Интегрируя, получим распределение скоростей в канале, удовлетворяя граничным условиям прилипания пресуемого материала к стенке при $r = R, u = 0$,

$$u = \frac{aR^{m+1}}{m+1} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{m+1} \right]. \quad (8)$$

Величину деформации сдвига определим из предположения постоянства режима движения пресуемого материала:

$$\gamma = \dot{\gamma}t, \quad (9)$$

где t – время движения слоя в канале фильеры.

Время движения слоя в канале фильеры

$$t = \frac{z_M}{u}. \quad (10)$$

Подставляя в выражение (9) зависимости (6), (10), и (8), получим деформацию сдвига

$$\gamma = \frac{z_M (m+1) (r)^m}{R^{m+1} - r^{m+1}}. \quad (10)$$

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

Полученная зависимость (10) может быть использована при составлении математической модели процесса экструдирования материалов

растительного происхождения для характеристики качества смешения в канале фильеры.

На рис. 2 приведены диаграммы изменения деформации сдвига по радиусу каналов фильер с $d_M = 0,005$ м и $d_M = 0,010$ м. Длина каждой фильеры принимает значения $z_M = 0,02$ м и $z_M = 0,05$ 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 $n = 0,233$.

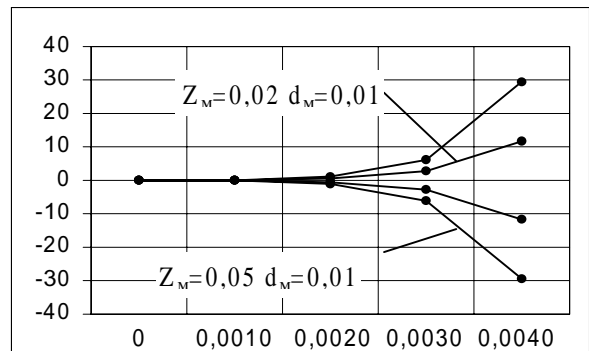
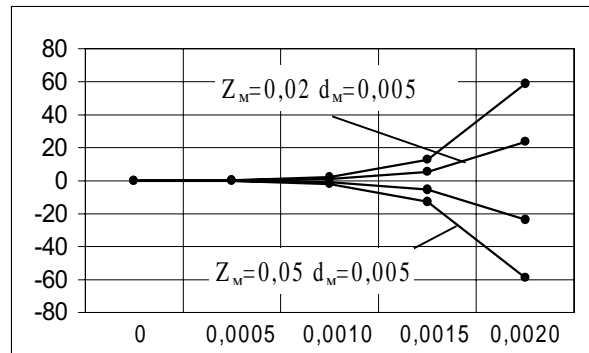


Рисунок 2 - Диаграммы изменения деформации сдвига по радиусу цилиндрического канала фильеры.

На диаграммах а) и б), рисунок 2, видно, что деформация сдвига больше у фильер с длиной $z_M = 0,05$ м, чем у фильер с длиной $z_M = 0,02$ м. Наибольшая деформация сдвига наблюдается у фильеры с диаметром $d_M = 0,005$ м и длиной $z_M = 0,05$ м.

В Ы В О Д Ы

1. Перемешивание в цилиндрическом канале зависит от длины и радиуса канала, а также индекса течения материала и может быть оценено деформацией сдвига по зависимости (10).

2. Диаграмма распределения деформации

сдвига в фильере экструдера может быть использована для определения степени обработки корма при экструдировании.

Список использованных источников

1. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. - Л.: Химия, 1975. - 232 с.
2. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник /Под ред. Ю.А. Мачихина. - М.: Агропромиздат, 1990. - 271 с.
3. Унксов Е.П. Инженерная теория пластичности. – М.: Машгиз, 1959. – 328с.