

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМБИКОРМОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ

В статье изложена методика проведения эксперимента по определению коэффициентов степенного закона Оствальда – де Вилия, описывающего течение комбикорма в фильере пресс-экструдера, и приведены уравнения для нахождения указанных величин для шести рецептов комбикормов при различных технологических параметрах процесса экструзии.

Комбикорма представляют собой дисперсные системы. Для экструдирования таких масс необходимо знание их физико-химических свойств и закономерностей их изменения в технологически допустимом диапазоне температур, влажности, давления и скорости деформации, исходя из двух важных причин:

– чтобы улучшить структуру экструдата и получить необходимые заданные свойства конечных видов продукции [1];

– для кинематических, прочностных и энергетических расчетов экструзионного оборудования [2].

Для описания течения комбикормов в процессе экструзии чаще других на практике применяется степенное уравнение Оствальда – де Вилия [3, 4]:

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

где τ – напряжение сдвига в материале;

μ' – коэффициент консистенции материала;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига;

n – индекс течения.

Степенной закон получил широкое распространение для выражения течения различных не-ньютоновских материалов [5], что связано с его простым математическим видом, минимальным числом реологических параметров (два), достаточно хорошим приближением результатов при практическом использовании. Он позволяет легко описать реологическое поведение материала.

Несмотря на большое количество работ по изучению реологических свойств различных пищевых продуктов и полимеров в литературных источниках отсутствуют сведения об исследованиях указанных свойств комбикормов в процессе экструзии.

Это позволяет сделать заключение, что определение реологических свойств комбикормов в процессе экструдирования, непосредственно влияющих на качество готового изделия, представляет значительный интерес и является актуальной задачей в настоящее время.

В связи с вышеизложенным на кафедре МАХПП ОГУ были определены числовые значения индексов течения n и коэффициентов кон-

систенции μ' уравнения Оствальда – де Вилия для шести рецептов комбикормов при различных параметрах процесса экструзии.

Для определения реологических свойств комбикормов в процессе экструзии измеряли давление в прессуемом материале в двух сечениях фильеры пресс-экструдера тензометрическим способом. Все тензодатчики были подключены к каналам аналого-цифрового преобразователя (АЦП) LC-212F, показания с которого поступали на ЭВМ. Программа обработки данных с АЦП выдает их на экране ЭВМ в графическом (для наглядности) и табличном (для дальнейшей обработки) виде.

Контроль температуры в ходе процесса прессования велся в зоне формирующей головки термометром сопротивления, данные с которого также поступали на АЦП.

Методика измерения давления и температуры изложена в работе [6].

Методика проведения эксперимента

Вязкость материала в общем случае может зависеть от целого ряда различных факторов (температуры, давления, молекулярного веса, концентрации и т. п.), одновременный учет которых представляет собой весьма сложную задачу. Поэтому при изучении экструзии псевдопластических материалов следует учитывать прежде всего аномалию вязкости и ее зависимость от температуры и влажности. Необходимо отметить, что изменение вязкости от давления для процесса экструзии несущественно, поскольку заметное ее увеличение характерно при достижении давления тысяч атмосфер [7, 8].

Шнековые пресс-экструдеры являются машинами непрерывного действия, у которых для первоначального пуска и вывода пресса на установившийся режим работы требуется определенное количество времени и некоторое количество исходного сырья.

По достижении установившегося режима работы на сырье с заданной начальной влажностью и заданной частоте вращения шнека, характеризующегося устойчивым и равномерным выходом продукта из формирующей фильеры и

фиксированным значением потребляемой электроприводом мощности и температуры экструдата, производили отбор экструдата за определенный промежуток времени (10 сек). При этом записывали показания индикатора частоты вращения, ваттметра и с АЦП от тензодатчиков и термометра сопротивления на ЭВМ.

Затем резко увеличивали частоту вращения шнека до другого фиксированного значения и производили отбор экструдата. Наблюдения показали, что при этом температура процесса остается постоянной. Производили замеры контролируемых величин. Затем резко уменьшали частоту вращения шнека до третьего фиксированного значения, меньшего, чем два первых, и производили измерения контролируемых величин.

Таким образом, при фиксированном значении температуры, характерной для данного рецепта комбикорма заданной влажности при выходе пресс-экструдера с заданными кинематическими параметрами на режим и нескольких различных частотах вращения шнека получали массив данных, необходимых для построения кривой течения.

Приведенную выше последовательность операций повторяли для каждого рецепта комбикорма. Процесс прессования исходного сырья велся при пяти значениях влажности: 26; 28; 30; 32 и 34%.

Следующий этап экспериментальных исследований заключался в определении зависимости реологических свойств комбикормов от влажности при фиксированных значениях температуры. Для этого приведенную выше последовательность операций повторяли для каждого рецепта комбикорма при 5 значениях влажности, не дожидаясь выхода пресс-экструдера на режим, а при достижении экструдатом определенной температуры.

Дальнейшим этапом экспериментальных исследований было выявление зависимости реологических свойств комбикормов от температуры при фиксированных значениях влажности.

Полученные образцы взвешивали на рычажных лабораторных весах, определяли среднеарифметический показатель и находили часовую производительность для каждого замера.

В общей сложности было проведено 90 опытов, в шести повторностях каждый.

Результаты экспериментальных исследований

В результате экспериментальных исследований получили значения нормальных напряжений в прессуемом материале в двух сечениях фильеры и производительностей пресс-экструдера

в зависимости от частоты вращения шнека, рецепта, влажности комбикорма и температуры экструзии.

По полученным данным определяли реологические свойства экструдированного сырья, используя методику, изложенную ранее [6].

Были определены числовые значения коэффициентов консистенции μ' и индексов течения n для различных рецептов комбикормов в фильере пресс-экструдера в зависимости от частоты вращения шнека, начальной влажности комбикорма и температуры экструзии, которая в процессе эксперимента изменялась от 70 до 95° С.

По полученным значениям выведены уравнения для определения μ' и n для данных комбикормов в рабочем интервале угловых скоростей рабочего шнека пресс-экструдера ($\omega = 7 \dots 20$ рад/с).

Массивы экспериментальных данных обрабатывались в программе *Microsoft Excel 2000* набором средств анализа данных, предназначенным для решения сложных статистических и инженерных задач.

Зависимость коэффициента консистенции μ' (МПа·сⁿ) от влажности исходного сырья W (%) и температуры процесса экструзии T (°С) хорошо описывается следующим выражением

$$\mu' = \mu'_0 \cdot \exp(a \cdot W \cdot T - b \cdot W - c \cdot T), \quad (2)$$

где μ'_0, a, b, c – коэффициенты, величина которых приведена в таблице 1.

На рисунке 1 представлена поверхность, построенная по этому выражению для рецепта К-999-11, которая наглядно демонстрирует, что с увеличением влажности исходного сырья и температуры процесса экструзии значение коэффициента консистенции μ' уменьшается.

Таблица 1. Значения коэффициентов уравнения (2)

Рецепт / ГОСТ	μ'_0	a	b	c
ПК-1-03-16 / 18221-72	$4,6 \cdot 10^{10}$	0,0051	0,7598	0,236
ПК-2-01-4 / 18221-72	$3 \cdot 10^8$	0,0023	0,5244	0,168
К-999-11 / 8-58-03-89	$2,88 \cdot 10^7$	0,0047	0,6058	0,17
ПК-50-00-1 / Р 50257-92	$1,06 \cdot 10^7$	0,0029	0,3227	0,2266
К-55-00-6 / 8-58-01-89	$1,15 \cdot 10^{13}$	0,0062	0,948	0,268
КК-65-00-1 / 9268-90	$1,4 \cdot 10^{12}$	0,0016	0,4528	0,2838

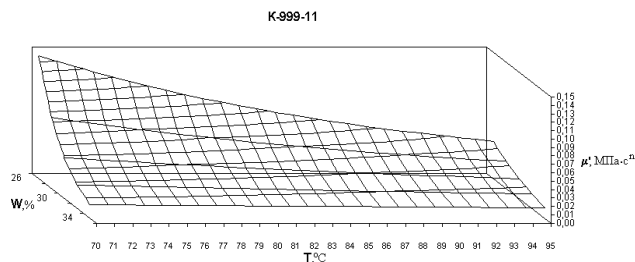


Рисунок 1. Зависимость коэффициента консистенции от влажности комбикорма и температуры экструзии

Таблица 2. Значения коэффициентов уравнения (3)

Рецепт / ГОСТ	n_1	d
ПК-1-03-16 / 18221-72	0,01716	0,522
ПК-2-01-4 / 18221-72	0,02216	1,199
К-999-11 / 8-58-03-89	0,01212	0,63184
ПК-50-00-1 / Р 50257-92	0,03354	2,07628
К-55-00-6 / 8-58-01-89	0,0104	0,01096
КК-65-00-1 / 9268-90	0,0196	1,01184

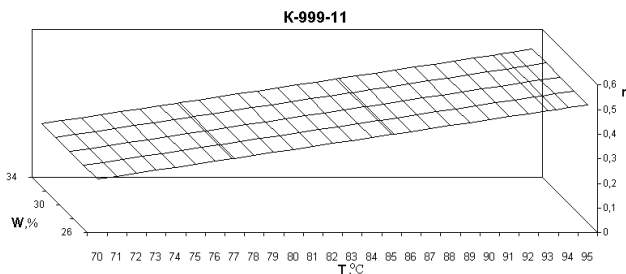


Рисунок 2. Зависимость индекса течения от влажности комбикорма и температуры экструзии

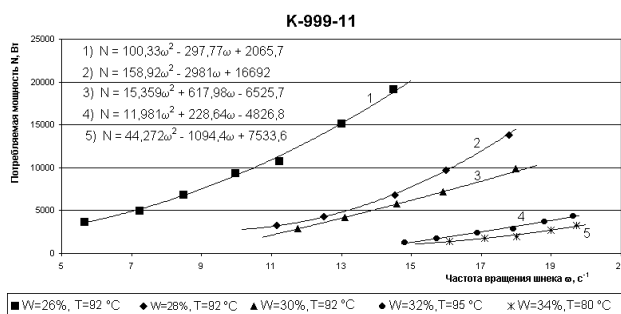


Рисунок 3. Зависимость потребляемой мощности экструдера от частоты вращения шнека

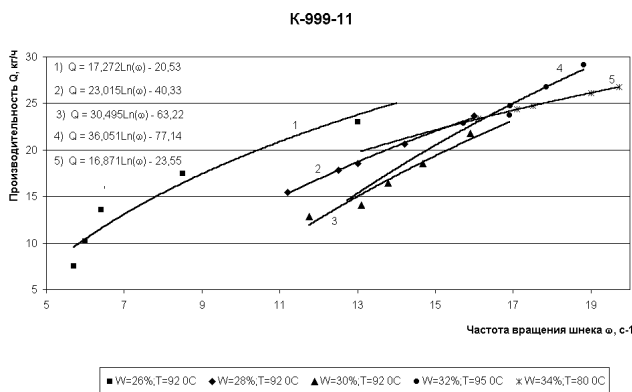


Рисунок 4. Зависимость производительности экструдера от частоты вращения шнека

Изменение влажности исходного сырья не влияет на индекс течения n . Зависимость индекса течения n от температуры процесса экструзии T (°C) хорошо описывается выражением

$$n = n_1 \cdot T^{-d}, \quad (3)$$

где n_1, d – коэффициенты, величина которых приведена в таблице 2.

На рисунке 2 представлена поверхность, построенная по этому выражению для рецепта К-999-11, из которой видно, что с увеличением температуры процесса экструзии значение n возрастает.

Необходимо отметить, что уравнения (2) и (3) справедливы только для исследованного диапазона изменения температуры, влажности и частоты вращения шнека.

Кроме того, были получены зависимости мощности и производительности экструдера от частоты вращения шнека и влажности комбикорма, на рисунках 3, 4 приведены указанные зависимости для рецепта К-999-11. Из графиков видна общая тенденция: потребляемая мощность экструдера возрастает с увеличением частоты вращения шнека; потребляемая мощность снижается с увеличением влажности комбикорма, что объясняется уменьшением вязкости перерабатываемого сырья (рисунок 1). Производительность экструдера возрастает с увеличением частоты вращения шнека в исследованном диапазоне и убывает – с увеличением влажности комбикорма.

Полученные результаты позволяют решить задачу адекватного математического описания процесса экструдирования пищевых и кормовых продуктов, что обусловит возможность создания новых продуктов с заранее заданными свойствами и осуществления ресурсосберегающего процесса экструдирования.

Полученные числовые значения индексов течения n и коэффициентов консистенции μ' при различных параметрах процесса экструзии для исследованных рецептов комбикормов позволяют производить оптимизацию конструкций пресс-экструдеров методами математического моделирования.

Список использованной литературы:

1. Быковская Г. Реология и экструзионные процессы // Хлебопродукты. – 1992. – №7. – С. 50.
2. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. Изд. 2-е, переработ. и доп. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1972. – 320 с.
3. Груздев И.Э., Мирзоев Р.Г., Янков В.И. Теория шнековых устройств. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 144 с.: ил.
4. Формование пищевых масс / Ю.А. Мачихин, Г.К. Берман, Ю.В. Клаповский. – М.: Колос, 1992. – 272 с.: ил.
5. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 216 с.
6. Абдрафиков Р.Н. Определение параметров процесса экструдирования с использованием аналого-цифрового преобразователя // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург: ОГУ, 2002. – Вып. №2. – С. 214-217.
7. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. – М.: Химия, 1977. – 438 с.
8. Янков В.И., Первадчук В.П., Боярченко В.И. Процессы переработки волокнообразующих полимеров (Методы расчета). – М.: Химия, 1989. – 320 с.