

¹Гируцкий И.И., д-р техн. наук, доцент,
¹Сеньков А.Г., канд. тех. наук, доцент, ¹Тарасевич Е.А., студент,
²Чумаков В.В., канд. тех. наук.

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРУДЕРА КОРМОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Повышение эффективности животноводства напрямую связано с развитием кормовой базы и является одним из факторов, обеспечивающих стабильную работу агропромышленного сектора. Среди различных способов обработки сырья и изготовления комбикормов наиболее перспективным является метод экструзии, при которой сырьё подвергается одномоментному воздействию высокой температуры, давления, влаги. Зерно обрабатывается в аппарате под давлением 40–60 атмосфер и большой температуре порядка 130–160 градусов, после чего из экструдера выбрасывается вспученное губчатое сырьё в виде жгутиков или палочек (подобных кукурузным палочкам) диаметром 20–30 мм, происходит "взрыв" продукта в месте ударного разряжения на выходе из агрегата. При обработке в экструдере культур и зерноотходов, доля работы "по перевариванию" осуществляется экструдером, из этого следует, что энергетическая ценность корма переходит к животному в большем объёме. При данном процессе сложные белки и углеводы делятся на более простые формы, клетчатка – на вторичный сахар. Короткое время обработки зерна предотвращает коагуляцию белков, сохраняются витамины и полезные свойства, а бактерии, болезнетворные палочки и грибки, умирают. Экструзионная обработка увеличивает перевариваемость белков, получают более доступными аминокислоты в результате разрушения в молекулах белка вторичных связей. Экструдер также убирает все факторы, которые отрицательно сказываются на пищевой ценности сырья. В результате увеличивается продуктивность кормления зверей и понижаются расходы на корма. При этом качество экструдированного продукта, энергетическая эффективность процесса определяется точностью

поддержания режимов экструдирования в производственных условиях [1, 2]. В химической промышленности накоплен значительный опыт экструдирования полимерного сырья, стабильные параметры которого определяют возможность использования простейших систем стабилизации параметров процесса с использованием известных пропорционально-интегральных-дифференциальных законов (ПИД) управления [3, 4, 5]. Однако экструдирование растительного сырья является значительно более сложной задачей управления в силу нестабильности физико-механических свойств и необходимости варьирования рецептуры и состава зерносмеси [2].

В общем случае [2, 4] энергетический баланс адиабатического экструдера определяется уравнением:

$$N = N_{\text{nagr}} + N_{\text{per}} + N_{\text{pot}} \quad (1)$$

где N – мощность электродвигателя привода шнека, Вт;

N_{nagr} – теплота, которая уходит с нагретым материалом, Вт;

N_{per} – мощность на перемещение продукта, Вт;

N_{pot} – потери тепла в окружающую среду через кожух экструдера, Вт.

Тепловая мощность N_{nagr} , расходуемая на нагрев экструдированного материала, определяется выражением:

$$N_{\text{nagr}} = G_{\text{M}} \cdot c_{\text{M}} \cdot (\theta_{\text{out}} - \theta_{\text{in}}), \quad (2)$$

где G_{M} – производительность экструдера, кг/с;

c_{M} – удельная теплоемкость перерабатываемого материала, Дж/(кг·°C);

θ_{out} – температура материала на выходе из экструдера, °C;

θ_{in} – температура материала на входе в экструдер, °C.

Удельную теплоемкость экструдированного продукта рассчитаем как средневзвешенную величину исходя из теплоемкости сухих веществ и влаги, содержащейся в зерне:

$$\tilde{n}_{\text{M}} = 0.01 \cdot [c_0 \cdot (100 - w) + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot w], \quad (3)$$

где c_0 – удельная теплоемкость сухих веществ зерна, Дж/(кг·°C);

$c_{\text{H}_2\text{O}}$ – удельная теплоемкость поглощенной зерном воды, Дж/(кг·°C);

w – влажность зерна, %.

Значения удельной теплоемкости абсолютно сухих веществ зерна пшеницы колеблются в пределах 750–1760 Дж/(кг·°С), в среднем 1470 Дж/(кг·°С); риса – около 1200 Дж/(кг·°С); кукурузы – около 1100 Дж/(кг·°С). Удельную теплоемкость поглощенной зерном воды обычно принимают 4190 Дж/(кг·°С), т. е. равной значению ее для свободной (жидкой) воды, что неверно. Теплоемкость связанной воды меньше этой величины и зависит от влажности и температуры. С увеличением температуры и влажности зерна удельная теплоемкость быстро возрастает, особенно в диапазоне выше 40°С. Чем выше влажность, тем значительнее рост удельной теплоемкости. Такое развитие обусловлено тем, что при повышении температуры более 20°С энергия связи влаги в зерне заметно снижается, поэтому существенно возрастает ее теплоемкость. Таким образом, процесс экструдирования зерна является процессом с распределенными параметрами, что существенно затрудняет его математическое описание.

Поэтому, в первом приближении [2], примем следующую зависимость теплоемкости зерносмеси от температуры θ и влажности w :

$$c_M = a + b \cdot w + k \cdot (\theta - 20), \quad (4)$$

где a, b, k – эмпирические коэффициенты, зависящие от состава смеси.

Для кукурузы можно принять $a = 935$ Дж/(кг·°С); $b = 51$ Дж/(кг·°С); $k = 16.8$ Дж/кг.

В силу линейности модели (4), для расчетов примем усредненные значения температуры и влажности продукта:

$$\theta = (\theta_{in} + \theta_{out})/2, \quad (5)$$

Как показали экспериментальные исследования, экструдированный продукт в среднем имеет влажность на 4..6% меньше исходной зерносмеси. Тогда, усредненная влажность:

$$w = (w_{in} + w_{out})/2, \quad (6)$$

После подстановки (5) и (6) в (3) и в (2) получим:

$$c_M = (a - 20 \cdot k) + \frac{b}{2} \cdot (w_{in} + w_{out}) + \frac{k}{2} \cdot (\theta_{in} + \theta_{out}). \quad (7)$$

Из формул (2), (7) можно определить необходимые энергетические затраты на нагрев продукта при заданной температуре в зави-

симости от производительности, влажности и температуры исходного материала.

Затраты на перемещение определяются выражением:

$$N_{\text{per}} = \frac{G_M \cdot P}{\rho}. \quad (8)$$

где P – перепад давлений, Па;

ρ – плотность продукта кг/м³.

При этом величина перепада давления определяется выражением:

$$P = \frac{(S_1^2 - S_2^2)}{2 \cdot \rho \cdot S_1^2 \cdot S_2^2} \cdot G_M^2, \quad (9)$$

где S_1 – площадь поперечного сечения канала экструдера, м²;

S_2 – площадь поперечного выходного отверстия экструдера, м².

В то же время колебания входных параметров, являющиеся возмущающими воздействиями, приведут к отклонению температуры продукта от заданной и, как следствие, отклонению качественных показателей выходного продукта. Поэтому нужны управляющие воздействия, стабилизирующие температуру продукта.

В данном случае изменение мощности электродвигателя $N(t)$ и производительности экструдера $G_M(t)$ можно считать управляющими воздействиями на объект, а изменение начальной температуры материала $\theta_{\text{in}}(t)$ и его удельной теплоемкости $c_m(t)$ – возмущающими воздействиями.

Если представить экструдер в виде объекта управления с выходной величиной θ_{out} , то в качестве возмущающих воздействий будут выступать температура, влажность и состав исходного сырья, а в качестве управляющих воздействий будут выступать изменение подачи исходного сырья в экструдер и изменение площади выходного отверстия.

Особенностью объекта управления режимом работы экструдера является зависимость коэффициентов a , b , k из формулы (4) от параметров исходного сырья и задаваемого значения выходной температуры θ_{out} . Поэтому решение эффективного управления нужно искать в классе робастных и интеллектуальных систем. Сложность разработки энергоэффективного алгоритма управления требует проведения многофакторных экспериментальных исследований для уточнения полученных аналитических зависимостей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидык Т.А. Повышение эффективности технологического процесса и обоснование параметров шнекового пресса для экструдирования зернового материала: диссертация кандидата технических наук: 05.20.01.- Саратов, 2006. – 172 с.

2. <http://www.kgau.ru/new/all/ui/iit/4.pdf>. Технологический регламент на производство экструдированного зерна: Регламент // ФГБОУ ВПО Красноярский государственный аграрный университет, Министерство сельского хозяйства и продовольственной политики Красноярского края. 2014. – 38 с.

3. Хобин, В.А. Особенности процесса экструдирования биополимеров как объекта управления и задачи управления процессом / В.А. Хобин, В.Б. Егоров // Автоматизация технологических и бизнес-процессов, № 11-12, 2012. – 20-23.

4. Хобин, В.А. Экспериментальные исследования процесса экструдирования биополимеров и идентификация моделей его отдельных компонентов / В.А. Хобин, В.Б. Егоров // Автоматизация технологических и бизнес-процессов, № 13-14, 2013. – с.9-15.

5. Мак-Келви, Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви. М.: Химия, 1965. 444 с.

УДК 634.11: 631.541.11:581.14:631.53.011 (476)

¹*Жабровский И.Е., канд. с.-х. наук, доцент*

¹*Добыш Г.Ф., канд. техн. наук, доцент,*

²*Жабровская Н.Ю., канд. с.-х. наук,*

¹*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск*

²*РУП Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, г. Минск*

КАРЛИКОВЫЕ И ПОЛУКАРЛИКОВЫЕ КЛОНОВЫЕ ПОДВОИ ЯБЛОНИ ДЛЯ ИНТЕНСИВНЫХ САДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Старые технологии ведения экстенсивного садоводства уходят в прошлое, так как не отвечают основным требованиям современ-