

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМОВ

С целью повышения интенсивности процесса экструдирования комбикормов и повышения качества экструдата предложено использовать компрессионный затвор, установленный в рабочей зоне одношнекового пресса-экструдера. Приводится математическая модель функционирования усовершенствованного пресса-экструдера, обуславливая возможность оптимизации его основных параметров.

Производство комбинированных кормов – одна из первых отраслей перерабатывающей промышленности, где активно стали применять нетрадиционные методы переработки, в частности – экструдирование. Процесс экструдирования включает в себя несколько операций, выполняемых одновременно: на всем протяжении рабочей зоны экструдера происходит перемешивание, нагрев, сжатие, стерилизация, формование продукта. Чтобы соответствовать современным технологиям, рабочие органы прессов-экструдеров должны быть простой конструкции, высокопроизводительными, неэнергоемкими, надежными в работе, удобными и нетрудоемкими в обслуживании, кроме того, качество производимого продукта должно быть неизменно высоким [1, 2, 3].

Для экструдирования комбикормов используются в основном одношнековые прессы-экструдеры непрерывного действия. Этот процесс характеризуется такими технологическими параметрами, как давление, температура и скорость прессования (производительность), которые обусловлены конструкцией цилиндра и длиной шнека экструдера. Интенсификация процесса экструзии может достигаться различными способами, в частности путем создания некоторого гидравлического сопротивления обратным потокам материала, которое обеспечило бы повышение давления в зоне прессования, сокращение рабочей зоны без потери давления, снижение энергоемкости процесса экструзии и материалоемкости конструкции пресса-экструдера.

В теории и практике экструдирования материалов на одношнековых прессах-экструдерах, например, для создания гидравлического сопротивления используются различные варианты устройств [2, 3, 4]. Однако при анализе результатов научных исследований по вопросам движения материала через такие устройства было замечено, что наряду с бесспорными преимуществами они имеют ряд немаловажных недостатков. Одним из основных недостатков

является то, что эти устройства обуславливают в основном улучшение перетираемости продукта, разрыхления, разогрева и измельчения, но не обеспечивают значительного увеличения давления в зоне прессования [4].

Поэтому возникает необходимость с целью разработки устройства без вышеизложенных недостатков рассмотреть процесс экструдирования материала на одношнековом прессе-экструдере. В зоне загрузки и пластикации частично расплавленный материал подчиняется закону движения твердого тела и закону относительного и переносного движения. Следовательно, на него действуют силы трения, возникающие при взаимодействии материала со шнеком и цилиндром. Учитывая, что винтовая линия шнека имеет определенный угол наклона относительно оси вращения и шнек вращается в неподвижном корпусе, очевидно, что на частицу материала действуют силы трения: одна в направлении, параллельном боковым поверхностям винтовой нарезки шнека, другая – в сторону вращения шнека (рис. 1). Соответственно материал движется в направлении вектора равнодействующей этих сил, под определенным углом относительно оси вращения. В зоне же прессования материал находится в расплавленном состоянии, и имеет место обратный поток массы. Исходя из вышеизложенного следует, что, во-первых, устройство нужно устанавливать между зоной пластикации и зоной прессования и, во-вторых, это устройство должно обеспечить минимальное сопротивление прохождению через него материала. При этом необходимо обеспечить постоянство процесса экструзии. Одним из эффективных конструктивных решений, удовлетворяющих изложенным требованиям, надо полагать, будет устройство, обеспечивающее в зоне прессования направление прямого потока массы под углом, совпадающим с углом наклона движущей (равнодействующей) силы. Это обусловит снижение сопротивления движению массы в прямом направлении и увеличение сопротивления обрат-

ным потокам. Конструктивно данное устройство должно содержать пазы, направленные вдоль движущей силы (под углом к оси вращения шнека) (рис. 1). Из последующей зоны, где материал находится уже в расплавленном состоянии, обратным потокам будут препятствовать прямой поток материала через пазы и стенки пазов [5].

Необходимо установить взаимосвязь конструктивных параметров данного устройства (компрессионного затвора) и характера движения материала в рабочей зоне. Так как основная масса материала движется под определенным углом наклона относительно оси вращения [5], необходимо определить угол наклона вектора абсолютной скорости движения материала.

Рассмотрим приложенные к частице силы в векторной форме (рис. 1). Вектор скорости этой частицы V_m представим в виде суммы вектора скорости движения относительно шнека V_s и вектора скорости движения шнека относительно стенки цилиндра V_z .

$$\vec{V}_m = \vec{V}_s + \vec{V}_z. \quad (1)$$

Вектор V_s направлен параллельно боковым поверхностям винтовой нарезки шнека, а вектор V_z – в направлении вращения шнека. При этом

$$|V_z| = \pi D n, \quad (2)$$

где D – диаметр шнека, м;
 n – частота вращения шнека, c^{-1} .

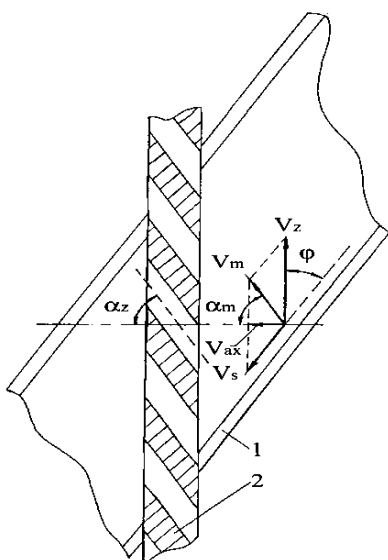


Рисунок 1. Диаграмма скоростей:
1 – канал шнека, развернутый на плоскости;
2 – компрессионный затвор.

Известно, что производительность процесса движения материала в загрузочной зоне определяется уравнением [4]:

$$G = V_{ax} b h / \sin \varphi, \quad (3)$$

где b – ширина канала, м;
 h – высота витка, м.

Определяющей производительность прессы-экструдера является аксиальная составляющая V_{ax} вектора V_m . Из рисунка 1 видно, что:

$$V_{ax} = V_m \cos \alpha_m, \text{ или } V_{ax} = V_s \sin \varphi; \quad (4)$$

$$V_z = V_m \sin \alpha_m + V_s \cos \varphi. \quad (5)$$

Решая (5) относительно V_m , получаем:

$$V_m = (V_z - V_s \cos \varphi) / \sin \alpha_m. \quad (6)$$

Подставив (6) в (4) и сделав несложные преобразования, получаем:

$$V_{ax} = (V_z - V_s \cos \varphi) \operatorname{ctg} \alpha_m; \quad (7)$$

$$V_{ax} = V_z \operatorname{ctg} \alpha_m / (1 + \operatorname{ctg} \varphi \operatorname{ctg} \alpha_m). \quad (8)$$

Из уравнения (4) и (7) следует:

$$\alpha_m = \operatorname{arctg} \frac{V_z - V_s \cos \varphi}{V_s \sin \varphi}. \quad (9)$$

Считаем, что на входе в компрессионный затвор имеет место движение продукта в виде сплошного деформирующегося тела и действует закон неразрывности потока. Отсюда следует, что для обеспечения минимума сопротивления прохождения массы через компрессионный затвор угол наклона его пазов α_z должен совпадать с вектором абсолютной скорости α_m движения материала, поступающего из зоны пластикации.

Поэтому

$$\alpha_z = \operatorname{arctg} \frac{V_z - V_s \cos \varphi}{V_s \sin \varphi}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что угол наклона пазов компрессионного затвора α_z зависит от величин векторов скоростей V_z и V_s , к тому же угол наклона абсолютной скорости имеет два граничных положения. Одно из них V_z , второе V_s .

Из вышеизложенного следует, что наиболее значимым фактором является угол наклона пазов компрессионного затвора. При этом компрессионный затвор увеличивает давление в зоне прессования, выполняя роль гидравлического сопротивления. Также данное устройство не нарушает закона неразрывности потока, не вносит значительных измене-

ний в структурно-механические свойства материала, увеличивая интенсивность его истечения.

Известно, что зона прессования отличается от зоны загрузки и зоны пластикации наличием в ней не одного, а двух потоков: прямого и обратного потока. При этом обратный поток состоит из двух составляющих, из которых одна направлена вдоль винтового канала шнека, вторая – в зазор между шнеком и цилиндром. Компрессионный затвор выполняет функцию ускорения прямого потока и запираения обратного потока материала из последующей зоны в предыдущую. Так как в зоне прессования присутствует прямой поток материала и при открытом выходе (т. е. без сопротивления в виде формующего инструмента) не возникает обратных потоков материала, можно считать, что поток материала из зоны загрузки сохраняется в зоне прессования в виде прямого потока. Поэтому после определенных преобразований уравнения (8) и подстановки в выражение (3) можно считать, что производительность прямого потока материала в зоне прессования опишется следующим уравнением:

$$G_s = \pi^2 D(D-h)nhk \sin\varphi \frac{Ctg\alpha_z}{\sin\varphi + \cos\varphi Ctg\alpha_z}, \quad (11)$$

где G_s – производительность прямого потока м³/с;

φ – угол наклона винтовой линии;

α_z – угол наклона пазов компрессионного затвора.

Из условий наложения потоков вязкостного течения представим три различных потока в виде одного:

$$G = G_s - G_p - G_l, \quad (12)$$

где G_p – обратный поток вдоль межвиткового канала шнека;

G_l – обратный поток в зазоре между шнеком и цилиндром.

Здесь основной поток G_s обуславливается внешними силами, возникающими в системе шнек – цилиндр; обратный поток G_p , идущий вдоль межвиткового канала шнека, возникает в результате перепада давления в расплаве, обратный поток G_l возникает в зазоре между шнеком и цилиндром [4]. Уравнение результирующего потока приобретает вид:

$$G = \pi^2 D(D-h)nhk \sin\varphi \frac{Ctg\alpha}{\sin\varphi + \cos\varphi Ctg\alpha} - \frac{\pi Dh^3 \sin^2\varphi}{12\mu} \times \frac{p_2 - p_1}{dl} - \frac{\pi^2 D^2 \delta^2 \operatorname{tg}\varphi}{12\mu b'} \times \frac{p_2 - p_1}{dl}, \quad (13)$$

где μ – вязкость г/см²;

k – коэффициент живого сечения компрессионного затвора;

δ – зазор между гребнем винтовой линии и стенкой цилиндра, м;

b' – ширина выступа нарезки, м;

p_1 – давление массы в начале зоны, г/м²;

p_2 – давление массы в конце зоны, г/м².

Таким образом, математическая модель пресса-экструдера, представленная в виде уравнения (13), показывает, что потоки материала зависят от параметров шнека (D, h, φ, dl), рабочих режимов (n, p_1, p_2) и вязкости μ . Прямой поток G_s не зависит от величины $(p_2 - p_1)/dl$, однако растет с увеличением глубины нарезки h и частоты вращения шнека n . Обратные же потоки G_p и G_l прямо пропорциональны величине $(p_2 - p_1)/dl$, которая резко уменьшается с установкой компрессионного затвора (установка компрессионного затвора выравнивает давление по всей зоне прессования). При этом следует отметить, что удельное падение давления $(p_2 - p_1)/dl$ зависит от размеров шнека, частоты его вращения, вязкости массы, от сопротивления, которое создает массу формующий инструмент.

Как видно из полученной модели (13), общая производительность G пресса-экструдера возрастает на величину уменьшения обратных потоков G_p и G_l , представленных в модели в виде второй и третьей ее составляющих. Кроме того, оптимизация угла наклона пазов компрессионного затвора с определенным значением коэффициента живого сечения обуславливает увеличение производительности прямого потока G_s , представленного в модели (13) первой ее составляющей.

На основе вышеизложенного предлагается высокопроизводительный пресс-экструдер, предназначенный для приготовления кормов в кормоцехах хозяйств и комбикормовых заводов (рис. 2).

На основании 1 установлен корпус 2 пресса. Исходная смесь через бункер 3 поступает в корпус питателя 4, а затем в корпус шнека, состоящий из разъемных частей 5 и 6. В месте соединения частей корпуса шнека установлен

компрессионный затвор 7 с пазами 8. Масса материала в зоне пластикации представляет собой упруго-пластичную гайку, которая посредством пазов компрессионного затвора разделяется на несколько потоков, равных количеству пазов, и попадает в зону прессования. В зоне прессования материал за счет давления и температуры переходит в вязко-пластичное состояние, которое обуславливает возникновение обратного потока, возникающего при достижении материалом формирующего инструмента. Проникновению обратного потока материала из зоны прессования в предыдущие зоны будут препятствовать прямой поток массы через пазы и стенки пазов. Для установки компрессионного затвора шнек выполнен из двух частей 9 и 10. В месте соединения двух частей 5 и 6 корпуса шнека на внутренней его поверхности выполнена кольцевая проточка, в которую жестко установлен компрессионный затвор 7. В этом же месте на шнеке отсутствует винтовая спираль и выполнена кольцевая проточка 11, в которой находятся головки межпазовых сегментов 12, что также препятствует утечке материала из зоны прессования.

Таким образом, предлагаемый пресс-экструдер с установленным в нем новым устройством – компрессионным затвором значительно интенсивнее воздействует на экструдирруемую массу, что обуславливает повышение качества производимого продукта (степень перемешивания, вспучиваемости, декстриниза-

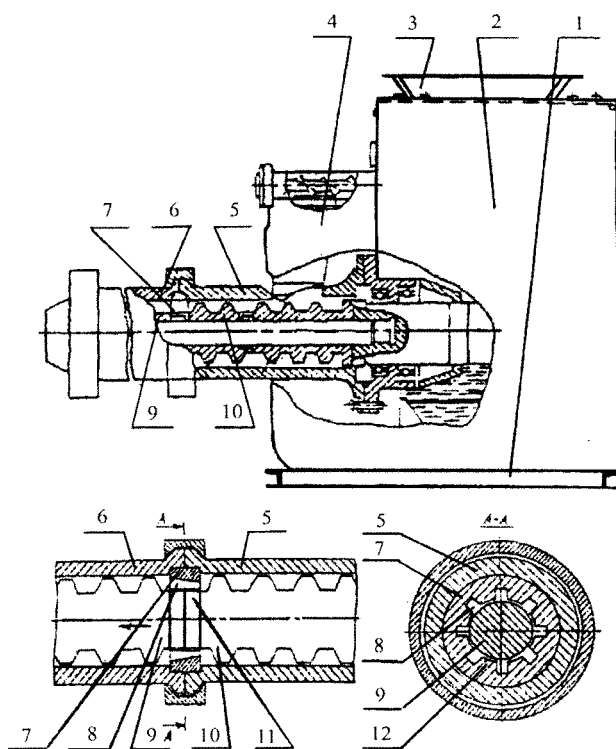


Рисунок 2. Пресс-экструдер.

1 – основание; 2 – корпус пресса; 3 – бункер; 4 – корпус питателя; 5, 6 – разъемные части корпуса шнека; 7 – компрессионный затвор; 8 – пазы; 9, 10 – разъемные части шнека; 11 – кольцевая проточка; 12 – межпазовые сегменты.

ции и т. д.) и снижает обратные потоки в рабочей зоне, что в свою очередь обуславливает повышение производительности и снижение удельной энергоемкости, а также материалоемкости установки.

Список использованной литературы:

1. Соколов А.Я. Прессы пищевых и кормовых производств. – М.: Машиностроение, 1973. – 288с.
2. Мачихин Ю.А., Берман Г.К., Клаповский Ю.В. Формование кормовых и пищевых масс. – М.: Колос, 1992. – 272 с.
3. Кукта Г.М. Машины для приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 1987. – 302 с.
4. Шенкель Г. Шнековые прессы, принцип действия, конструирование и эксплуатация. – Ленинград, 1962. – 468 с.
5. А. с. 2153270 Пресс-экструдер / Ковриков И.Т., Холодилин А.П., Шабанов Д.К. Заявл. 01.07.1998; опубл. 27.07.2000. Бюлл. №21.