

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТО-ВОЗДУШНОГО СЛОЯ В ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ ЗЕРНА УДАРНО-ИСТИРАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

Эффективность работы измельчителей зерна ударно-истирающего действия существенно зависит от свойств кольцевого воздушно-продуктового слоя, образующегося в их рабочей камере.

Разработка математической модели воздушно-продуктового слоя, ее идентификация и последующая верификация позволят управлять свойствами слоя, с тем чтобы более эффективно использовать существующее оборудование и разработать рекомендации при создании нового.

В статье представлена первая часть работы – идентификация математической модели.

Основным оборудованием для измельчения зерна как в сельском хозяйстве, так и в смежных отраслях промышленности являются молотковые дробилки, которые нашли широкое распространение благодаря простоте конструкции, надежности в работе и удобству обслуживания при эксплуатации. Использование понятия «измельчитель зерна» позволяет полнее охватить весь парк применяемых машин, имеющих схожую с молотковыми дробилками конструкцию рабочих камер и общий принцип работы, хотя и имеющих ряд отличий.

Как показали исследования, проведенные в разное время рядом ученых, в рабочей камере таких измельчителей образуется кольцевой движущийся слой продукта толщиной от 20 до 32 мм в зависимости от величины загрузки дробилки.

Кольцевой слой перемещается в направлении вращения молотков со скоростью, равной половине скорости молотка, а у поверхности сита или деки составляет 18-22% от окружной скорости молотков.

Эффективность работы измельчителя зерна ударно-истирающего действия существенно зависит от свойств этого кольцевого воздушно-продуктового слоя, образующегося в рабочей камере [1, 2].

Разработка математической модели воздушно-продуктового слоя, ее идентификация и последующая верификация позволят управлять свойствами слоя, а следовательно, максимально эффективно использовать существующее оборудование и разработать рекомендации при создании нового.

В статье представлена первая часть работы – идентификация математической модели.

При установившемся движении механизма измельчителя воздушно-продуктовый слой приобретает форму полого цилиндра [2]. Примем, что плотность ρ_c слоя постоянна во всех точках. На внутреннюю поверхность радиуса r_a этого полого цилиндра воздействует давление воздуха, которое под действием лопастей ротора приобретает величину p_a , а на внешнюю поверхность от корпуса с радиусом r_c действует реактивное давление p_c (см. рисунок 1).

Предположим, что поведение воздушно-продуктового слоя удовлетворительно описывает модель ньютоновской жидкости, находящейся в поле сил инерции.

Под действием давления происходит истечение материала воздушно-продуктового слоя через отверстия ситовой поверхности. Воспользуемся уравнением рас-

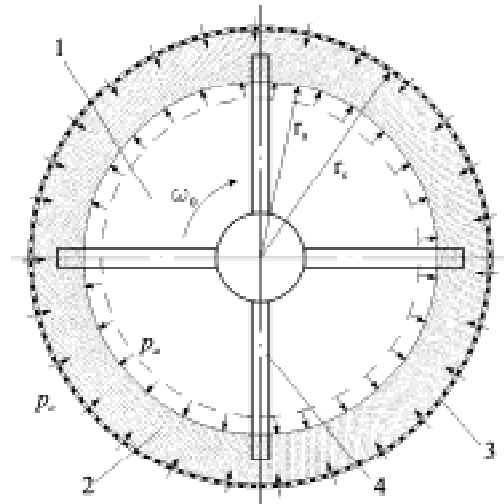


Рисунок 1. Распределение давлений в рабочей зоне измельчителя зерна.

1 – воздушно-вихревая зона; 2 – воздушно-продуктовый слой; 3 – ситовая обечайка; 4 – молоток.

хода жидкости при истечении из отверстия [3]

$$Q = \mu_u \rho_c F_0 \sqrt{\frac{2p_c}{\rho_c}}, \quad (1)$$

где μ_u – коэффициент расхода через отверстие в тонкой стенке, определяемый экспериментально;

F_0 – площадь ситовых отверстий, равная

$$F_0 = 2\pi r_c H \varphi; \quad (2)$$

H – осевая протяженность сита;

φ – коэффициент живого сечения.

Тогда в формуле (1) присутствуют неизвестные величины μ_u , p_c и ρ_c , из которых наиболее удобным для экспериментального определения является давление на сито p_c .

Для вращающегося по стенке цилиндра слоя жидкости справедлива зависимость (рисунок 1)

$$p_c = \rho_c \int_{r_a}^{r_c} \frac{v_2^2}{r} dr + p_a. \quad (3)$$

Ранее [4] была выдвинута гипотеза, что окружную скорость воздушно-продуктового слоя $v_2(r)$ определяет зависимость

$$\bar{v}_2(\bar{r}) = \frac{A}{\bar{r}}, \quad (4)$$

где: $\bar{v}_2(\bar{r}) = \frac{v_2(r)}{\omega_0 r_a}; \quad \bar{r} = \frac{r}{r_a};$ (5)

A – константа, численно равная приведенной скорости воздушно-продуктового слоя $\bar{v}_2(\bar{r})$ на его внутренней границе, то есть при значении приведенного радиуса $\bar{r} = 1$;

ω_0 – угловая скорость ротора измельчителя;

r_a – радиус внутренней границы воздушно-продуктового слоя.

После интегрирования и преобразований выражения (1) получим плотность

$$\rho_c = 2 \frac{p_c - p_a}{r_c^2 - r_a^2} \left(\frac{r_c}{A \omega_0 r_a} \right)^2. \quad (6)$$

Все входящие в правую часть уравнения (6) величины можно измерить и на этой основе вычислить плотность слоя ρ_c .

Пренебрегая давлением на внутренней границе воздушно-продуктового слоя, получим из формулы (1) с учетом выражения (6)

$$Q = A \mu_u \rho_c F_0 \omega_0 r_a \sqrt{1 - \frac{r_a^2}{r_c^2}}. \quad (7)$$

Уравнение (7) определяет производительность измельчающего механизма. Расход Q приближенно можно принять численно равным подаче продукта в измельчитель в установившемся режиме работы. Это дает возможность вычислить из уравнения (7) значения коэффициента расхода μ_u .

После статистической обработки результатов определения величин ρ_c и μ_u можно построить для них корреляционные зависимости, подстановка которых в (7) идентифицирует это уравнение математической модели процесса ударно-истирающего измельчения.

Другим уравнением математической модели поведения воздушно-продуктового слоя является уравнение баланса мощности сил, действующих в этом слое, которое, если пренебречь влиянием торцевых стенок рабочего пространства, имеет вид

$$N_2 + N_a - N_{cm} - N_u = 0, \quad (8)$$

где N_2 – мощность, передаваемая ротором непосредственно воздушно-продуктовому слою;

N_a – мощность, передаваемая через границу воздушно-продуктового слоя и воздушно-вихревой зоны;

N_{cm} – мощность, выделяемая воздушно-продуктовым слоем при трении о ситовую поверхность корпуса;

N_u – мощность, затрачиваемая на измельчение.

Мощность N_a определена нами ранее [4].

Мощность N_2 определим, рассмотрев движение молотков ротора в слое ньютоновской жидкости (рисунок 2).

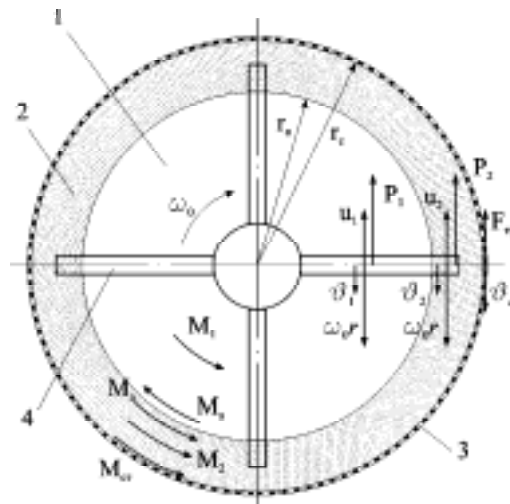


Рисунок 2. Схема распределения скоростей и моментов сопротивления в рабочей камере измельчителя зерна. 1 – воздушно-вихревая зона; 2 – воздушно-продуктовый слой; 3 – сито; 4 – ротор.

Скорость обтекания молотка воздушно-продуктовым слоем:

$$u_2(r) = \omega_0 r - v_2(r). \quad (9)$$

Силы сопротивления движению молотка в воздушно-продуктовом слое P_2 на элементарном участке протяженностью dr радиально расположенного молотка высотой h_M развивают мощность:

$$dN_2 = \omega_0 P_2 r dr = \xi_{2M} \omega_0 \frac{\rho_c u_2^2(r)}{2} h_M r dr, \quad (10)$$

где ξ_{2M} – коэффициент гидравлического сопротивления движению молотка в воздушно-продуктовом слое.

Перейдя к безразмерным переменным (4), (5), возьмем интеграл в пределах от границы воздушно-продуктового слоя с безразмерной координатой $\bar{r} = 1$ до конца молотка с безразмерной координатой $\bar{r} = \bar{r}_M$

$$N_2 = \xi_{2p} \frac{\rho_c \omega_0^3 r_a^5}{2} \int_1^{\bar{r}_M} \left(\bar{r} - \frac{A}{\bar{r}} \right)^2 \bar{r} d\bar{r}; \quad (11)$$

где $\xi_{2p} = \xi_{2M} z_M \frac{h_M}{r_a}. \quad (12)$

После интегрирования и преобразований получим окончательно

$$N_2 = \xi_{2M} z_M h_M \frac{\rho_c \omega_0^3 r_a^4}{8} \left[\bar{r}_M^4 + 4A \left(A \ln \bar{r}_M - \bar{r}_M^2 + 1 \right) - 1 \right]. \quad (13)$$

Экспериментально измерив мощность N_2 , можно вычислить значение коэффициента гидравлического сопротивления ξ_{2M} .

Мощность сил трения о ситовую поверхность корпуса определена выражением

$$N_{cm} = 2\pi H v_c r_c \tau_{2cm}. \quad (14)$$

Напряжение сдвига на боковой поверхности корпуса измельчителя τ_{2cm} определено зависимостью [5]

$$\tau_{2cm} = c_{2cm} \rho_c \frac{v_c^2}{2}, \quad (15)$$

где c_{2cm} – коэффициент гидравлического сопротивления сита измельчителя вращению воздушно-продуктового слоя;

v_c – окружная скорость воздушно-продуктового слоя при $r = r_c$.

Из условия (4)

$$v_c = A \omega_0 \frac{r_a^2}{r_c}. \quad (16)$$

С учетом (15) и (16) момент сил трения о ситовую поверхность M_{cm} определен выражением

$$M_{cm} = \frac{N_{cm} r_c}{v_c} = A^2 \pi H c_{2cm} \rho_c \omega_0^2 r_a^4. \quad (17)$$

Экспериментально измерив M_{cm} , можно из уравнения (17) вычислить значение коэффициента гидравлического сопротивления c_{2cm} .

Определение неизвестных величин в трех слагаемых уравнения (8) позволяет вычислить четвертое слагаемое – величину мощности, затрачиваемой на измельчение N_u .

После статистической обработки результатов определения величин ξ_{2m} , c_{2cm} и N_u можно построить для них корреляционные зависимости, подстановка которых в (8) идентифицирует это уравнение математической модели процесса ударно-истирающего измельчения.

Таким образом, математическая модель, описывающая поведение воздушно-продуктового слоя, может быть полностью идентифицирована. Полученные результаты определяют объем и направление необходимых экспериментальных исследований процесса ударно-истирающего измельчения в измельчителях с осесимметричным рабочим пространством.

Список использованной литературы:

1. Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов. Справочник. Часть I. – М.: Россельхозиздат, 1987.
2. Сыроватка В.И. О движении материала, измельчаемого на молотковой дробилке // Мех. и электр. сел. хоз-ва. – 1964. – №4.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга – М.: Машиностроение, 1992.
4. Коротков В.Г., Полищук В.Ю., Соловых С.Ю. Кинематика рабочего пространства измельчителя ударно-истирающего действия // Вестник ОГУ. – Оренбург, 2002.
5. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах (физические основы и инженерные методы расчета). – Л.: Химия, 1984.