

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОГО КОРМА В КАНАЛАХ РОТОРНОГО КАВИТАЦИОННОГО АППАРАТА

П. Ю. КРУПЕНИН, канд. техн. наук, доцент
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Перспективным способом подготовки концентрированных кормов к скармливанию является гидроимпульсная обработка, заключающаяся во многократной обработке сырья в водной среде при помощи роторных импульсных аппаратов. В процессе движения кормовой суспензии по каналам рабочих элементов аппарата – ротора и статора – корм подвергается комплексной обработке. Конечным продуктом гидроимпульсной обработки зерна является жидкая кормовая добавка с содержанием сухого вещества до 30 %, которая может быть использована в рационах кормления свиней и крупного рогатого скота.

Режущее-истирающее действие рабочих элементов аппарата на твердые частицы корма и импульсное движение суспензии в каналах ротора и статора, в свою очередь приводящее к образованию кавитационных пузырьков, обеспечивают комплексную обработку корма, включающую факторы механического (измельчение частиц зерна), гидроимпульсного (получение однородной суспензии) и кавитационного (улучшение биохимического состава корма) воздействий.

В настоящее время наиболее исследованными и экспериментально подтвержденными математическими моделями движения жидкости в каналах ротора и статора являются модели, полученные в результате модификации нестационарного уравнения Бернулли [1].

С допущением, что потери энергии потока жидкости на трение малы, нестационарное уравнение Бернулли запишется в виде [2]:

$$\frac{p_p + p_\omega}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_o}{\rho} + \frac{u^2}{2} [1 + \zeta_m(t)] + (l_p + l_c + \delta) \frac{du}{dt}, \quad (1)$$

где p_p – статическое давление в полости ротора, Па;

p_o – статическое давление в рабочей камере статора, Па;

p_ω – прирост статического давления за счет действия на жидкость центробежной силы в канале ротора, Па;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

u_1, u – скорость жидкости на входе и выходе из каналов, м/с;

$\zeta_m(t)$ – обобщенный коэффициент местных сопротивлений;

l_p, l_c – длина каналов ротора и статора соответственно, м;

δ – радиальный зазор между ротором и статором, м.

В уравнении (1) присутствует параметр $\zeta_m(t)$ – коэффициент гидравлического сопротивления системы «канал ротора – радиальный зазор – канал статора». В работе [3] предложено определять величину $\zeta_m(t)$ для расширяющегося канала статора по зависимости:

$$\zeta_m(t) = 1,5 + \frac{4l_c^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{a_c^2} \sin 2\beta + \zeta_{\text{пер}} \cdot e^{-9,6 \left(1 - \frac{|a_c - v_p t|}{a_c} \right)}, \quad (2)$$

где $\zeta_{\text{пер}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления полностью перекрытых каналов аппарата [2].

Зависимость (2), полученная при допущении, что частицы обрабатываемого материала не препятствуют движению жидкости в каналах ротора и статора, может быть использована для расчета значений коэффициента ζ_m при обработке в аппарате жидкостей или суспензий, дисперсность которых сопоставима с величиной радиального зазора δ между его рабочими элементами. Однако при обработке кормовой суспензии, размер частиц зерна в которой значительно превышает зазор δ , погрешность модели (2) увеличивается, поскольку в начале фазы открытия канала статора и в завершении фазы его перекрытия крупные частицы блокируют часть площади проходного сечения между каналами ротора и статора, увеличивая при этом их гидравлическое сопротивление (рис. 1, а).

Степень влияния частиц зерна на гидравлическое сопротивление каналов роторного импульсного аппарата предлагается учесть коэффициентом k_S , равным отношению свободной площади S' проходного сечения между каналами ротора и статора к общей площади S данного сечения (рис. 1, б):

$$k_S(t) = \frac{S'(t)}{S(t)} = 1 - \frac{S_\delta(t)}{S(t)}, \quad (3)$$

где $S_\delta(t)$ – площадь проходного сечения между каналами, заблокированная частицами кормовой суспензии, м².

В общем виде полная площадь S проходного сечения между соосающимися каналами ротора и статора определяется по зависимости:

$$S(t) = h_c a(t) = h_c \sqrt{(a_c - |a_c - v_p t|)^2 + \delta^2}, \quad t \in \left[0; \frac{2a_c}{v_p}\right], \quad (4)$$

где $a(t)$ – ширина проходного сечения между каналами ротора и статора, м;

h_c – длина входного отверстия канала статора, м.

Для сферической формы частиц заблокированная площадь S_6 равна суммарной площади их поперечных сечений:

$$S_6(t) = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_6(t)}{\overline{d_6(t)}}, \quad (5)$$

где $\overline{d_6(t)}$ – средний диаметр частиц, способных заблокировать проходное сечение шириной a между каналами, м;

$V_6(t)$ – общий объем частиц, блокирующих проходное сечение, м³.

Средний диаметр $\overline{d_6}$ определяется в зависимости от ширины a проходного сечения и максимального размера частиц в суспензии:

$$\overline{d_6(t)} = \frac{a(t) + d_{\max}}{2}, \quad (6)$$

где $d_{\max}$ – максимальный диаметр частиц в кормовой суспензии, м.

При определении объема V_6 частиц кормовой суспензии, способных заблокировать проходное сечение, следует учитывать только те из них, которые удовлетворяют следующим условиям. Во-первых, диаметр частиц должен превышать величину радиального зазора δ между ротором и статором, так как в противном случае они перейдут в него. Во-вторых, частицы должны иметь размер более текущей ширины a проходного сечения между каналами (см. рис. 1, б).

Поскольку процесс совмещения и разъединения каналов ротора с каналами статора является циклическим, то частицы, заблокировавшие проходное сечение в конце фазы закрытия канала статора, будут также блокировать его и в начале фазы открытия следующего цикла. Принимая во внимание эту особенность, объем V_6 частиц зерна, способных заблокировать проходное сечение между каналами, может быть определен по зависимости:

$$V_{\delta}(t) = \begin{cases} \left[V_{\delta}^{\text{закр}} + C_3 \int_0^t q(t) dt \right] \cdot [1 - F_3(a(t))], & 0 \leq t \leq \frac{a_c}{v_p}; \\ C_3 [1 - F_3(a(t))] \cdot \int_{t_3}^t q(t) dt, & t_3 \leq t \leq \frac{2a_c}{v_p}; \\ 0, & \frac{a_c}{v_p} < t < t_3, \end{cases} \quad (7)$$

где $V_{\delta}^{\text{закр}}$ – объем частиц, скопившихся на входе в канал статора во время фазы его перекрытия, м^3 ;

C_3 – объемная концентрация частиц зерна в суспензии;

$q(t)$ – функция расхода кормовой суспензии через один канал статора, $\text{м}^3/\text{с}$;

F_3 – значение интегральной функции распределения размеров частиц зерна;

t_3 – момент времени, по достижении которого возможна блокировка частицами проходного сечения в фазе перекрытия канала статора, с.

Значение времени t_3 и объема $V_{\delta}^{\text{закр}}$ определяются исходя из максимального размера частиц в суспензии.

Для учета эффекта блокировки проходного сечения частицами обрабатываемого материала предлагается дополнить зависимость (2), определяющую гидравлическое сопротивление ζ_m каналов ротора и статора, уточняющим коэффициентом k_S . В указанной зависимости выражение в степени экспоненты $1 - |a_c - v_p t| / a_c$ учитывает полноту совмещения каналов ротора и статора, которая увязана с изменением площади проходного сечения между ними. Поскольку коэффициент k_S также учитывает уменьшение площади проходного сечения, доступной для движения жидкости в данный момент времени, то зависимость $\zeta_m(t)$ может быть уточнена в следующем виде:

$$\zeta'_m(t) = 1,5 + \frac{4l_c^2 \text{tg}^2 \beta}{a_c^2} \sin 2\beta + \zeta_{\text{пер}} \cdot e^{-9,6k_S \left(1 - \frac{|a_c - v_p t|}{a_c} \right)}. \quad (8)$$

Предложенное уточнение математической модели движения кормовой суспензии по каналам роторного аппарата позволит рассчиты-

вать подачу роторного импульсного аппарата с учетом блокировки частицами корма проходного сечения между каналами ротора и статора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промтов, М. А. Методы расчета характеристик роторного импульсного аппарата / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов, А. В. Алешин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 148 с.
2. Червяков, А. В. Влияние конструктивно-технологических параметров на подачу роторно-импульсного кавитационного диспергатора кормов / А. В. Червяков, С. В. Курзенков, П. Ю. Крупенин // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2016. – № 1. – С. 102–106.
3. Крупенин, П. Ю. Гидроимпульсная подготовка консервированного плющеного зерна кукурузы на корм свиньям кавитационным диспергатором: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П. Ю. Крупенин. – Горки, 2017. – 24 с.

УДК 637.133.1

ОБЗОР СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

Ю. О. ГОРНОСТАЕВ, ассистент;
Н. И. СКАКУН, ст. преподаватель;
П. С. ХРОМЕНКОВ, студент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Основная задача в борьбе за повышение качества молочных продуктов – это сохранение молока в свежем состоянии возможно более длительный срок, особенно при массовом, промышленном их изготовлении. Без этого невозможно эффективное хозяйство, так как из поступающего на перерабатывающие предприятия молока с большим содержанием микроорганизмов и повышенной кислотностью нельзя получить высококачественные и стойкие при хранении продукты питания.

Основная часть. Практически все способы основаны на том, что молоко отдает тепло охлаждающей жидкости через разделяющую их стенку.

Выделяют три основные системы: объемное охлаждение, охлаждение в потоке, а также комбинированные системы.

Способ объемного охлаждения. При наличии проточной воды молоко может охлаждаться путем надевания перфорированного трубчатого кольца на горлышко бидона с теплым молоком. После того как кольцо соединяется с водопроводом, вода течет по внешней поверхности бидона.