

- Передня, В.И. Комплект оборудования для производства белково-витаминно-минеральных добавок. / В.И. Передня, В.И. Хруцкий, А.М. Тарасевич // Сельскохозяйственная научно-техническая информация. – 2014. – № 1.
- Жешко, А.А. Внесение мульчирующих материалов в приствольные полосы плодовых деревьев ротором с лопастями переменной высоты: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Жешко. – Минск, 2008.

УДК 631.363:636.085

А.А. Романович

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАВИТАЦИИ ПРИ ГИДРОДИСПЕРГИРОВАНИИ ЗЕРНОФУРАЖА

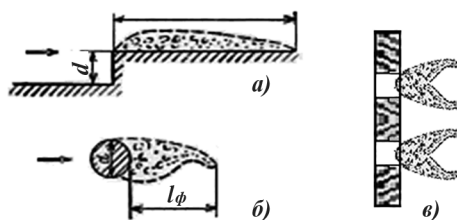
Введение

Повышение продуктивности животных, снижение затрат на единицу продукции немислимы без эффективного использования кормов. Для стабилизации полноценного кормления животных в мировой практике все больше применяют концентрированные корма на основе зерна. Однако переваримость зерна составляет всего 60–65 %. Для увеличения усвояемости применяют различные способы обработки зернофуража. В настоящее время наиболее эффективными являются влаготепловые способы, среди которых особого внимания как наименее энергоемкий заслуживает гидродинамический способ обработки зернофуража с использованием кавитации [1].

Результаты исследований

В процессе обработки зернового материала в гидродиспергаторе обрабатываемая среда подвергается механическому и гидродинамическому (кавитационному) воздействиям. Явление кавитации возникает в жидкости при понижении в ней давления до предела, при котором происходят разрывы потока. Наступление кавитации характеризуется появлением мельчайших парогазовых пузырьков, которые при соответствующем развитии кавитации образуют в потоке кавитационные пульсирующие каверны – факелы кавитации (рисунок 1).

Пузырьки захлопываются во время полупериодов сжатия, создавая кратковременные им-



- при обтекании выступа;
- при обтекании цилиндра;
- при прохождении через отверстия

Рисунок 1. – Факелы кавитации

пульсы давления, с образованием точечных температур, способных разрушать даже весьма прочные материалы. Если кавитационные пузырьки замыкаются вблизи от твердого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению поверхности рядом находящегося твердого тела. Импульсы давления, возникающие в кавитационных пузырьках, обуславливают также мгновенные разрывы микроорганизмов и простейших, находящихся на твердых предметах и в водной среде. Вода, получившая порцию энергии в виде серии возмущений давления, начинает постепенно нагреваться [2]. Таким образом, можно утверждать, что при гидродинамической обработке зерна одновременно происходят три процесса: измельчение, смешивание и нагрев водно-зерновой массы.

Для переработки зерна в легкоусвояемую пастообразную массу был изготовлен экспериментальный гидродиспергатор, состоящий из емкости вместимостью 200 л, центробежного насоса производительностью $25 \text{ м}^3/\text{ч}$, трубопроводов и кавитатора, выполненного коническим.

Конический патрубок предназначен для увеличения давления жидкости до порогового значения, после которого, попадая в область атмосферного давления (в емкость аппарата), парогазовые пузырьки начинают захлопываться, разрушая при этом зерновые компоненты смеси.

Для определения рациональных параметров гидродиспергатора рассмотрим процессы, происходящие в коническом патрубке при движении жидкой кормосмеси (рисунок 2).

При работе установки жидкость движется по участку трубопровода от выхода из центробежного насоса до ускоряющего патрубка конической формы длиной L_1 и далее по коническому патрубку длиной L_2 .

Когда жидкость проходит через трубопровод диаметром D , она обладает давлением p_1 . При этом давление $p_1 = \text{const}$, так как это – создаваемое насосом давление. В процессе движения по коническому патрубку давление жидкости постепенно увеличивается, и на выходе из конического патрубка диаметром d она имеет давление p_2 .

Таким образом, для получения эффекта кавитации в рабочей емкости гидродиспергатора необходимо определить выходной диаметр ускоряющего патрубка d и давление p_2 , которое необходимо создать на выходе из конического патрубка.

Для определения данных параметров запишем уравнение:

$$V_1 p_1 = V_2 p_2,$$

где V_1 – условный объем жидкости в трубопроводе, м^3 , $V_1 = \frac{\pi D^2}{4} L_1$;

V_2 – условный объем жидкости в коническом патрубке, м^3 ,

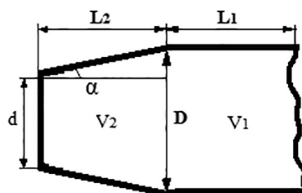


Рисунок 2. – Схема ускоряющего патрубка

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi L_2 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{Dd}{4} \right),$$

где D – диаметр трубопровода, m ;

d – выходной диаметр ускоряющего патрубка, m ;

L_1 – длина трубопровода от выхода из центробежного насоса до ускоряющего патрубка, m ;

L_2 – длина конического патрубка, m .

Подставив выражения для нахождения объемов, получим:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{\pi D^2 L_1}{4}}{\frac{1}{3} \pi L_2 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{Dd}{4} \right)} = \frac{3D^2 L_1}{L_2 (D^2 + d^2 + Dd)}. \quad (1)$$

Выходной диаметр ускоряющего патрубка d можно выразить через угол наклона боковой поверхности α . Так как $\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2L_2}$, то

$$d = D - 2L_2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Подставив в формулу (1) значение (2), получим:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{3D^2 L_1}{L_2 (D^2 + (D - 2L_2 \operatorname{tg} \alpha)^2 + 4D(D - 2L_2 \operatorname{tg} \alpha))}. \quad (3)$$

Упростив выражение (3), имеем:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{3D^2 L_1}{6D^2 L_2 - 12DL_2^2 \operatorname{tg} \alpha + 4L_2^3 \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (4)$$

Так как величина $p_1 = \operatorname{const}$, то из выражения (4) выразим давление p_2 :

$$p_2 = \frac{3D^2 L_1 p_1}{6D^2 L_2 - 12DL_2^2 \operatorname{tg} \alpha + 4L_2^3 \operatorname{tg}^2 \alpha}.$$

Необходимым условием возникновения кавитации является понижение давления в потоке жидкости до давления парообразования, то есть кавитация возникает, когда абсолютное мгновенное давление p_A будет удовлетворять условию

$$p_A = p_2 - p_a \geq p_{кр},$$

где p_a – атмосферное давление, $kПа$;

$p_{кр}$ – критическое давление с учетом влияния выделяющегося воздуха из жидкости при кавитации и наличия твердых взвешенных частиц, $kПа$.

Обычно двумя последними факторами пренебрегают и принимают $p_{кр} \approx p_T$, где p_T – абсолютное давление паров жидкости, значение которого определяется по следующей зависимости:

$$p_T = 0,0001T^3 - 0,0034T^2 + 0,1138T + 0,36.$$

При повышении пульсаций давления в вихревом следе или при сносе кавитационных пузырьков в области повышенного давления пузырьки захлопываются (разрушаются). Если захлопывание происходит у твердой стенки, то материал ее подвергается значительным механическим ударным воздействиям. Эти воздействия при соответствующих условиях приводят к разрушению измельчаемого материала.

В качестве критерия, характеризующего кавитацию, обычно применяют коэффициент кавитации:

$$K = \frac{P_{\text{хар}} - P_{\text{кр}}}{\rho_{\text{п}} v_{\text{хар}}^2}, \quad (5)$$

где $P_{\text{хар}}$ – абсолютное давление вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений;

$\rho_{\text{п}}$ – давление парообразования;

$v_{\text{хар}}$ – абсолютная скорость потока вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений.

Так как разрушение зерновой массы происходит непосредственно после выхода жидкости из конического патрубка и до того момента, пока давление жидкости не станет равным давлению в емкости, принимаем его равным среднему значению:

$$P_{\text{хар}} = \frac{P_2 + P_a}{2}. \quad (6)$$

Абсолютную скорость потока вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений можно определить по формуле:

$$v_{\text{хар}} = \frac{v_{\text{нас}} \cos \alpha + v_{\text{нас}}}{2}, \quad (7)$$

где $v_{\text{нас}}$ – скорость потока, создаваемая насосом, м/с.

Подставив в выражение (5) формулы (6), (7) и упростив выражение, получим искомое значение коэффициента кавитации:

$$K = \frac{\frac{P_2 + P_a}{2} - P_{\text{кр}}}{\rho_{\text{п}} \left(\frac{v_{\text{нас}} \cos \alpha + v_{\text{нас}}}{2} \right)^2} = \frac{P_2 + P_a - 2P_{\text{кр}}}{2\rho_{\text{п}} v_{\text{нас}}^2 \left(\frac{\cos \alpha + 1}{2} \right)^2}.$$

Значение параметра кавитации, соответствующее условиям возникновения кавитации, принято называть критическим и обозначать $K_{\text{кр}}$. Очевидно, кавитации не будет, когда

$$K > K_{\text{кр}}.$$

Значение $K_{\text{кр}}$ будет различным в зависимости от видов неровностей, встречаемых потоком. В данном случае будет иметь место сужение трубопровода. Для неровностей такого вида (пространственных выступов) рекомендуется принимать $K_{\text{кр}} = 2 \sin \alpha$ [3].

Параметром, характеризующим процесс, является степень развития (стадия) кавитации, которая определяется отношением:

$$\beta_k = \frac{K}{K_{кр}}$$

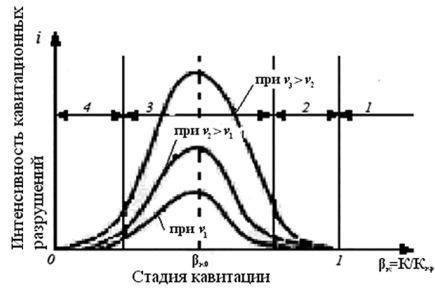
где K – коэффициент кавитации в данных условиях работы;

$K_{кр}$ – коэффициент кавитации в условиях начала ее возникновения.

В зависимости от степени развития процесса различают начальную стадию кавитации, развившуюся кавитацию и суперкавитацию (рисунок 3).

Соответствующие им значения β для плохообтекаемых тел лежат в следующих границах: начальная стадия – $0,7 < \beta_k < 1,0$, развившаяся – $0,15 < \beta_k < 0,70$, суперкавитация – $\beta_k \geq 0,15$.

Кавитационные разрушения, их интенсивность зависят от формы и стадии кавитации, очертаний обтекаемого тела, содержания в воде воздуха, скорости потока, вида материала кавитируемого тела. При некотором значении $\beta_k = \beta_{к0}$ в стадии развившейся кавитации возникают максимальные кавитационные разрушения. В начальной же стадии и в стадии суперкавитации разрушения существенно меньше или вообще могут отсутствовать, особенно при непродолжительных кавитационных воздействиях [4].



- 1 – бескавитационный режим; 2 – начальная стадия;
3 – развившаяся кавитация; 4 – суперкавитация

Рисунок 3. – Схематический график зависимости интенсивности кавитационных разрушений i от стадии кавитации $\beta = K/K_{кр}$

существенно меньше или вообще могут отсутствовать, особенно при непродолжительных кавитационных воздействиях [4].

Заключение

Получены зависимости для определения условий возникновения кавитации при гидродиспергировании зернофуража. Исследования показали, что кавитационные разрушения, их интенсивность принимают свои максимальные значения в стадии развившейся кавитации.

15.09.2015

Литература

1. Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 годы: Указ Президента Республики Беларусь, 23 марта 2005 г., № 150. – Минск: Беларусь, 2005. – С. 9–10.
2. Шестаков, С.Д. Основы теории процессов и аппаратов кавитационной дезинтеграции: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / С.Д. Шестаков. – М., 2001. – 128 с.
3. Идельчик, Е.И. Справочник по гидросопротивлениям / Е.И. Идельчик. – М.: Наука, 1992. – 354 с.
4. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.