

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТНОГО КОНДИЦИОНЕРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

В.А. ШАРШУНОВ - член - корреспондент ААН РБ, д.т.н.;
А. В. ЧЕРВЯКОВ, к.т.н.; **А. В. ТАЛАЛУЕВ** (БГСХА)

Основным компонентом комбикормов является зерно и продукты его переработки. В зерне и бобах злаковых и бобовых культур содержатся все необходимые компоненты для животных, использование которых зависит от технологии их обработки перед скармливанием.

Зерно злаковых культур наряду с другими видами питательных веществ много содержит крахмала, усвоение которого при кормлении животных происходит медленно и при этом продуктивно используются только определенные формы и то в небольшом количестве. По данным ряда исследований, усвояемость питательного потенциала крахмала в созданной природной форме не превышает 20...25 %, в зависимости от вида культур [1].

Одним из путей улучшения питательной ценности зернового сырья является использование различных способов влаготермической обработки, необходимыми факторами которой являются: температура, влажность зерна и давление.

Действие высокой температуры (свыше 100 °С) вызывает гидролиз крахмала, сопровождающийся укорачиванием цепей крахмальных зерен и образованием легкорастворимых углеводов, в первую очередь декстринов, что дает возможность часть биохимических процессов производить вне желудка животного, положительно влияя на обмен белка в организме [2]. Кроме этого тепло и влага вызывают набухание и клейстеризацию крахмала.

Воздействие высокой температуры и давления при значительном количестве вводимой влаги приводит к окислительным процессам в зерновом сырье и комбикорме, снижает содержание в них жира.

Одним из методов, объединяющим в себе вышеперечисленные факторы, является скоростное кондиционирование. Данный метод позволяет за короткий промежуток времени произвести пропаривание материала и насыщение его дополнительной влагой.

Нами предложена конструкция скоростного кондиционера, которая обеспечивает направленное воздействие тепла, влаги и давления на биохимические изменения обрабатываемого зернового сырья.

На рисунке 1 показана схема предлагаемой ус-

тановки, которая включает: узел загрузки 1, корпус 2, выполненный в виде стыкующихся секций 4, два газораспределителя: в виде газораспределительной решетки 9 и трубы 7 с перфорациями 8, на верхнем конце которой закреплено распределяющее устройство 3, узел разгрузки 10, подводящую трубу 11 с заслонками 12 и 13, для регулировки подачи теплоносителя, форсунку 14.

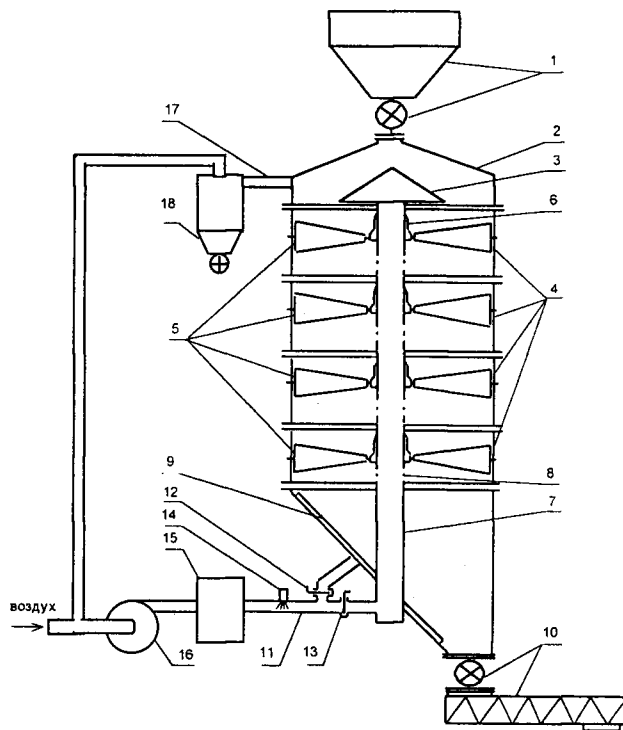


Рис. 1. Схема скоростного кондиционера.

калорифер 15, воздушодувку 16, отводящий патрубок 17, циклон 18, заслонку 19, для регулировки подачи воздуха. Каждая секция имеет боковую цилиндрическую стенку и днище, выполненное из отдельных элементов трапециевидальной формы 5, расположенных с зазором относительно друг друга, большими основаниями, примыкающими к стенке.

а меньшими - к держателю 6, зафиксированному на трубе.

Процесс движения материала по рабочим элементам секции можно разделить на 2 этапа: движение материала по поверхности рабочего элемента и движение материала при переходе с одного элемента на другой.

Для обоснования границ варьирования основных конструктивных и технологических параметров установки был сделан теоретический расчет движения материала по рабочим поверхностям элементов секций скоростного кондиционера.

1. Определение скорости и траектории движения зерна по поверхности элемента.

Выделим из материала элементарную частицу, имеющую свойства обрабатываемого материала, в виде элементарного параллелепипеда, и рассмотрим ее движение по поверхности элемента, расположенного под α углом к горизонту (рис. 2).

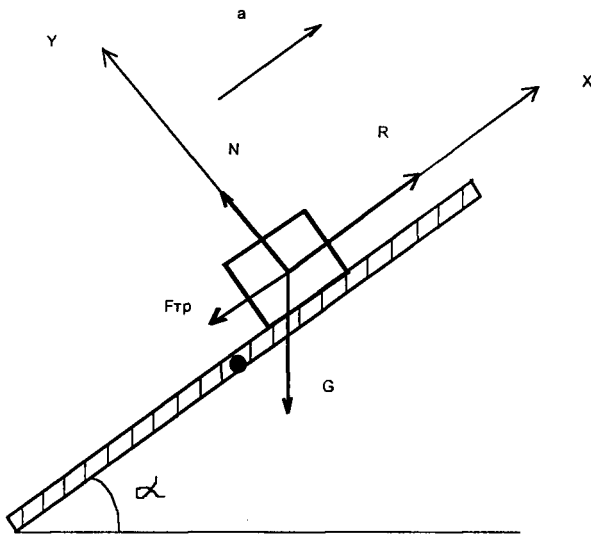


Рис. 2. Схема движения материала по поверхности элемента.

Направим ось X вдоль элемента вверх. Возьмем начало отсчета на оси X в начальном положении тела. Предположим, что начальная скорость тела $V_0=0$. Следовательно, начальные условия движения имеют вид: при $t=0$ $x=0$, $x'=V_0=0$.

На тело действуют следующие силы:

R - сила действия воздушного потока на тело, Н;
Fтр. - сила трения тела о поверхность элемента, Н;

G - сила тяжести, Н;

N - сила реакции опоры, Н

Запишем дифференциальные уравнения движения материальной точки в проекциях на оси X и Y [3].

$$mx'' = \sum_{i=1}^n F_{ix} \quad my'' = \sum_{i=1}^n F_{iy}$$

В данном случае получим:

$$mx'' = R - Ft \rho - G \sin(\alpha) \quad (1)$$

$$my'' = N - G \cos(\alpha) \quad (2)$$

Так как $G=mg$,

где m - масса тела, кг;

g - ускорение свободного падения, m/c^2 , приравняв уравнение (2) к 0, находим $N=mg \cos(\alpha)$. (3)

По закону сухого трения

$$F_{тр.} = fN = fmg \cos(\alpha). \quad (4)$$

Силу действия воздушного потока на тело определяем по формуле Ньютона [4]:

$$R = \kappa \rho_g S (V_g - U)^2 \quad (5)$$

где ρ_g - плотность воздуха, $кг/м^3$,

S - площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению воздушного потока, $м^2$,

V_g - скорость воздушного потока, м/с,

$U=x'$ - скорость движения тела, м/с,

κ - коэффициент сопротивления.

Подставив формулы (4) и (5) в формулу (1) и разделив на m, получим:

$$x'' = \frac{\kappa \rho_g S}{m} (V_g - x')^2 - fg \cos(\alpha) - g \sin(\alpha) \quad (6)$$

$$\frac{\kappa \rho_g S}{m} = \kappa_n \quad \text{- коэффициент парусности, } 1/м.$$

Заменяем $fg \cos(\alpha) - g \sin(\alpha) = L$.

Проинтегрировав и преобразовав уравнение (6), с учетом начальных условий, получим:

$$x' = \frac{\sqrt{\kappa_n} V_g [1 - e^{-a}] - \sqrt{L} [1 + e^{-a}]}{\sqrt{\kappa_n} [1 - e^{-a}]}, \quad (7)$$

где

$$a = 2\sqrt{\kappa_n} \sqrt{L} (t + c_1)$$

$$c_1 = - \frac{\ln \left[\frac{\sqrt{\kappa_n} V_g + \sqrt{L}}{\sqrt{\kappa_n} V_g - \sqrt{L}} \right]}{2\sqrt{\kappa_n} \sqrt{L}}$$

Проинтегрировав и преобразовав уравнение (7), с учетом начальных условий, получим уравнение движения тела:

$$x = - \frac{1}{\kappa_n} \ln \left[-1 + e^{-2\sqrt{\kappa_n} \sqrt{L} (t + c_1)} \right] + V_g (t + c_1) - \frac{\sqrt{L} (t + c_1)}{\sqrt{\kappa_n}} + c_2, \quad (8)$$

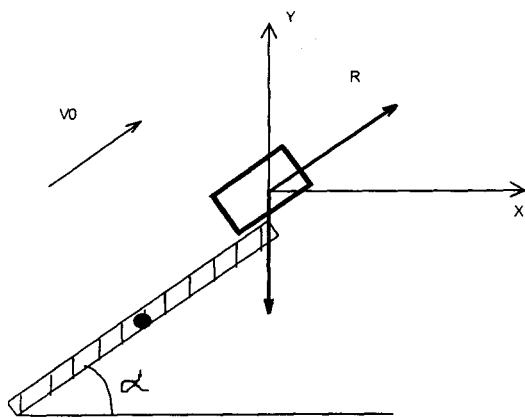


Рис.3. Схема движения материала при переходе с одного элемента на другой.

где:
$$c_2 = \frac{1}{\kappa_n} \ln \left[-1 + e^{-[2\sqrt{\kappa_n} \sqrt{Lc_1}]} \right] - V_0 c_1 + \frac{\sqrt{Lc_1}}{\sqrt{\kappa_n}}$$

2. Рассмотрим движение материала при переходе с одного элемента на другой (рис. 3). Элементы расположены под углом α к горизонту.

Направим ось X горизонтально, ось Y вертикально. Возьмем начало отсчета в начале координат. Тело имеет начальную скорость $V = V_0$. Предположим, что направление начальной скорости тела V_0 параллельно плоскости элемента. Следовательно, начальные условия движения имеют вид: при $t=0$, $y=0$, $x'=V_0 \cos(\alpha)$, $y'=V_0 \sin(\alpha)$.

На тело действуют следующие силы:

R - сила действия воздушного потока на тело, Н;
G - сила тяжести, Н;

Запишем дифференциальные уравнения движения материальной точки в проекциях на оси X и Y [3].

$$m x'' = R \cos(\alpha) \quad (9)$$

$$m y'' = R \sin(\alpha) - G \quad (10)$$

Силу действия воздушного потока на тело определяем по формуле Ньютона (5).

Подставив формулу (5) в формулу (9) и разделив на m, получим:

$$x'' = \frac{\kappa \rho_{\text{в}} S}{m} (V_0 - x')^2 \cos(\alpha) \quad (11)$$

Проинтегрировав и преобразовав уравнение (11), с учетом начальных условий, получим:

$$x' = \frac{V_0 \cos(\alpha) + tk_n V_0 \cos(\alpha) (V_0 - V_0 \cos(\alpha))}{tk_n \cos(\alpha) (V_0 - V_0 \cos(\alpha) + 1)} \quad (12)$$

Проинтегрировав и преобразовав уравнение (12), с учетом начальных условий движения зерна, получим уравнение горизонтальной составляющей закона движения тела:

$$x = Vt - \frac{\ln(tk_n V_0 \cos(\alpha) - tk_n V_0 \cos^2(\alpha) + 1)}{\kappa_n \cos(\alpha)} \quad (13)$$

Решая дифференциальное уравнение (10), с учетом начальных условий, получим уравнение вертикальной составляющей скорости (15) и уравнение вертикальной составляющей закона движения тела (16):

$$y' = \frac{\sqrt{pg} - \text{tg}(t\sqrt{pg})(g - pV_B(V_B - V_0 \sin(\alpha)))}{\sqrt{pg} + p(V_B - V_0 \sin(\alpha))\text{tg}(t\sqrt{pg})} \quad (15)$$

где $p = \kappa_{\Pi} \sin(\alpha)$

$$y = \frac{1}{2p} \ln \left[\frac{(\text{tg}(t\sqrt{pg}) + \sqrt{\frac{p}{g}}(V_B - V_0 \sin(\alpha)))^2}{(1 - \text{tg}(t\sqrt{pg}))\sqrt{\frac{p}{g}}(V_B - V_0 \sin(\alpha))^2} - 1 \right] + V_B t \quad (16)$$

Проведенные расчеты позволяют теоретически определить границы варьирования основных конструктивных технологических параметров:

- скорость потока теплоносителя 10 - 14 м/с;
- угол наклона рабочего элемента 15 - 45 град.;
- зависимость скорости движения материала от скорости потока теплоносителя;
- зависимость траектории движения материала от скорости потока теплоносителя.

Движение материала через секцию скоростного кондиционера можно разделить на 3 этапа. На первом этапе, при условии $R > F_{\text{тр}} + mgsin(\alpha)$, происходит накопление материала на рабочих элементах секции. При этом, под действием потока теплоносителя, поступающего из-под днища через имеющиеся зазоры между элементами, часть материала движется по поверхности днища, совершая круговое движение и образуя в местах прорыва теплоносителя фонтанирующий слой. На втором этапе, при условии $R = F_{\text{тр}} + mgsin(\alpha)$, достигается максимальная толщина слоя материала на рабочих элементах секции. На третьем этапе, при условии $R < F_{\text{тр}} + mgsin(\alpha)$, часть материала перемещается по поверхности элемента днища вниз, попадая на нижерасположенное днище.

На рисунках 4, 5 и 6 представлены характерные графики данного процесса.

Время обработки материала на каждой секции установки определяется из условия:

$$G = R \quad (17)$$

где G - сила тяжести материала, расположенного на рабочих элементах секции, Н;

R - сила действия воздушного потока на материал, Н [4].

Производительность установки Q определяется по формуле:

$$Q = \frac{m}{t}, \quad (18)$$

где m - масса материала, кг;
 t - время, с.

$$G = mg = Qgt, \quad (19)$$

Учитывая уравнения (17), (5), и (19) имеем:

$$Qgt = \kappa \rho_{\text{в}} S (V_{\text{в}} - U)^2, \quad (20)$$

$$\text{откуда } t = \frac{\kappa \rho_{\text{в}} S (V_{\text{в}} - U)^2}{Qg} \quad (21)$$

Полученная зависимость позволяет определить время обработки материала при прохождении одной секции предлагаемого скоростного кондиционера, исходя из конструктивных параметров.

Исходя из данных проведенных экспериментов, получили зависимость между диаметром установки и количеством рабочих элементов:

$$n = \frac{\pi(D+d)}{2k}, \quad (22)$$

где n - количество рабочих элементов, шт.;
 D - диаметр установки, м;
 d - диаметр держателя, м
 k - интервал изменения средней ширины рабочего элемента, м.
 $k=0,09 \dots 0,20$ м.

Литература

1. Шаршунюв В.А. и др. Направленные совершенствования технологии обработки зерна при производстве комбикормов. - В кн. "Материалы Общего собрания Академии аграрных наук Республики Беларусь." Минск, 1999, с. 51-60.

2. Черняев Н.П. Производство комбикормов. - М.: Агропромиздат, 1989. - 224 с.

3. Бат М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах. - Т. 2-М.: Наука, 1968.-624с.

4. Любченко Г. В., Игнатенко Л. Д. Моделирование перемещения туков в воздушной среде// Конструирование и технология производства с.-х. машин. - 1977. - № 7. - С. 16-20.

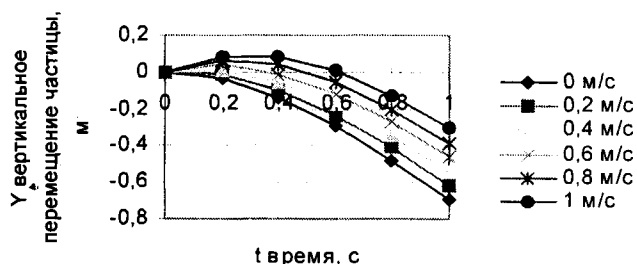


Рис. 4. График зависимости вертикального перемещения частицы Y от времени t при ее переходе с одного элемента на другой ($a=45$ град., $V=12$ м/с)

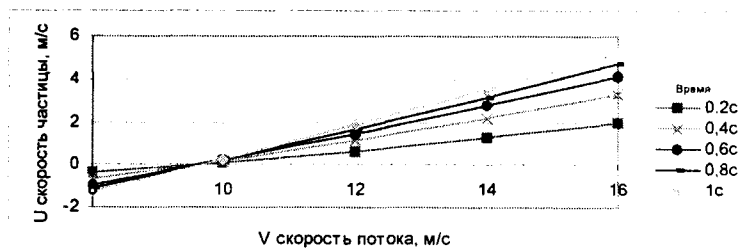


Рис. 5. График зависимости скорости частицы U от скорости потока V при $a=45$ град.

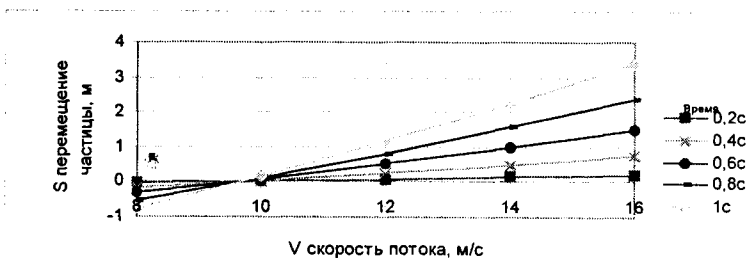


Рис. 6. График зависимости перемещения частицы S от скорости потока V при $a=45$ град.

