

УДК 636.085:7:631.363.21

А.И. Пунько, М.В. Иванов
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)
Д.Ф. Кольга, В.С. Сыманович,
Г.Г. Тычина, Ю.Н. Гнедько
(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВАЛЬЦОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ЗЕРНОФУРАЖА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ

Введение

Комбикорм является одним из важнейших и незаменимых компонентов в рационе всех сельскохозяйственных животных. Основным требованием к готовому продукту является определенный размер измельченных частиц компонентов комбикорма без пылевидной фракции (равномерность), а смесь должна быть однородной.

Традиционно для измельчения компонентов комбикорма используют молотковые дробилки. Полученный в этих дробилках продукт обладает повышенным содержанием пылевидных частиц, что снижает переваримость питательных веществ комбикорма. Замена дробления плющением существенно снижает образование таких частиц, но в процессе плющения зерно может полностью не разрушиться [1], так как степень измельчения компонентов во многом зависит от характера поверхности валцов и величины зазора между ними [2].

Основная часть

Минимальный радиус валцов определим из условия нормального функционирования вальцового измельчителя, которое выполняется при захвате вальцами частиц зернофуража.

На рисунке 43а и 43б представлены схемы к определению условия захвата частицы 1 вальцами 2, каждый из которых получает привод от отдельного электродвигателя через клиноременную передачу, причем правый валец – с повышенной скоростью.

Условие захвата частицы может быть получено из явления заклинивания частицы между вальцами [3]. Для этого составим уравнение суммы моментов сил, действующих на частицу 1, относительно одной из точек контакта частицы с вальцом (на схеме 43б с левым вальцом в точке А). Тогда, исходя из рисунка 43б, получим:

$$\sum_i M_A(F_i) = -Nh + Grc\cos\alpha_{зах} + F_{mp}(r + rc\cos 2\alpha_{зах}) = 0,$$

где r – радиус частицы, м;

$h = r \cdot \sin 2\alpha_{зах}$ – плечо действия силы N , м;

G – сила тяжести, Н;

«частица – вальцы» заклинит в начальном положении. После заклинивания нарастание реакции N и силы трения F_{mp} замедлится, и оно будет определяться характером смятия (сжатия) частицы.

Силы, действующие на частицу при ее заклинивании, определяются следующим образом:

$$F_{mp}R = M_{\text{об}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{об}}$ – момент, вращающий валец, $H \cdot m$;

R – радиус вальца, m .

Следовательно,

$$F_{mp} = M_{\text{об}} / R. \quad (4)$$

Тогда реакция N определится как

$$N = \frac{F_{mp}}{f_{mp}} = \frac{M_{\text{об}}}{f_{mp}R}. \quad (5)$$

Если при этом значении N не произойдет смятие (сжатие) частицы, то механизм заклинит. Если же частица подверглась смятию (сжатию), то есть она деформировалась, то под действием сил трения она будет затягиваться в межвальцовое пространство. Действительно, умножив выражение $f_{mp} = \text{tg}\alpha_{\text{зax}}$ на N , получим:

$$Nf_{mp} = N \frac{\sin\alpha_{\text{зax}}}{\cos\alpha_{\text{зax}}}, \quad (6)$$

откуда, с учетом первой части выражения (5), получим выражение:

$$F_{mp} \cos\alpha_{\text{зax}} \geq N \sin\alpha_{\text{зax}}. \quad (7)$$

Примем, что коэффициент трения зерна о материал вальца постоянен для данных условий и, исходя из условия $f_{mp} \geq \text{tg}\alpha_{\text{зax}}$, определим радиус вальцов R .

Из прямоугольного треугольника KDO_2 (рисунок 43а) имеем:

$$KD^2 = DO_2^2 - KO_2^2 = (R+r)^2 - (R+\Delta_1)^2;$$

$$\text{tg}\alpha_{\text{зax}} = \frac{KD}{KO_2} = \frac{\sqrt{(R+r)^2 - (R+\Delta_1)^2}}{R+\Delta_1},$$

где $\Delta_1 = \Delta/2$ – половина зазора между вальцами, m .

Отсюда

$$f_{mp} \geq \text{tg}\alpha_{\text{зax}} = \frac{\sqrt{(R+r)^2 - (R+\Delta_1)^2}}{R+\Delta_1}. \quad (8)$$

Перепишем формулу (8) в относительных единицах, введя обозначения $R/r = \lambda$, $\Delta_1/r = \varepsilon$ – коэффициент сжатия. Для этого разделим числитель и знаменатель на r :

$$f_{mp} \geq \frac{\sqrt{(\lambda+1)^2 - (\lambda+\varepsilon)^2}}{\lambda+\varepsilon}. \quad (9)$$

Преобразуем данное выражение:

$$[f_{mp}(\lambda + \varepsilon)]^2 \geq \left[\sqrt{(\lambda + 1)^2 - (\lambda + \varepsilon)^2} \right]^2;$$

$$f_{mp}^2 \lambda^2 + 2\lambda \varepsilon f_{mp}^2 + f_{mp}^2 \varepsilon^2 \geq \lambda^2 + 2\lambda + 1 - \lambda^2 - 2\lambda \varepsilon - \varepsilon^2.$$

Далее получаем уравнение:

$$\lambda^2 + 2 \frac{(1 + f_{mp}^2)\varepsilon - 1}{f_{mp}^2} \lambda + \frac{(1 + f_{mp}^2)\varepsilon^2 - 1^2}{f_{mp}^2} = 0,$$

корни этого уравнения

$$\lambda = -\frac{(1 + f_{mp}^2)\varepsilon - 1}{f_{mp}^2} \pm \sqrt{\frac{[(1 + f_{mp}^2)\varepsilon - 1]^2}{f_{mp}^4} - \frac{(1 + f_{mp}^2)\varepsilon^2 - 1^2}{f_{mp}^2}}.$$

(знак « \leftarrow » опускаем как нереальный).

Упростим полученное выражение:

$$\lambda = \frac{1 - (1 + f_{mp}^2)\varepsilon + \sqrt{(1 + f_{mp}^2)(1 - \varepsilon)^2}}{f_{mp}^2} = (1 - \varepsilon) \frac{1 + \sqrt{1 + f_{mp}^2}}{f_{mp}^2} - \varepsilon. \quad (10)$$

Для надежности заклинивания введем коэффициент $\beta \approx 1,05 \div 1,1$.

Тогда

$$\lambda = \beta \left[(1 - \varepsilon) \frac{1 + \sqrt{1 + f_{mp}^2}}{f_{mp}^2} - \varepsilon \right]. \quad (11)$$

На рисунке 44 иллюстративно показан характер изменения зависимостей $\lambda = f(f_{mp})$, представляющих собой гиперболы. Данные теоретические зависимости λ от коэффициента трения f_{mp} для различного ε , имеющего значения 0,1; 0,25 и 0,5, рассчитаны по формуле (11).

Рисунки 44а и 44б имеют вертикальную асимптоту $f_{mp} = 0$ (при $f_{mp} \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \infty$). При увеличении коэффициента трения f_{mp} величина λ уменьшается, а значит, и радиус вальца R , обеспечивающий заклинивание тела, также уменьшается.

Из рисунка 44а видно, что изменение радиуса вальца весьма чувствительно к изменению коэффициента трения при малых его значениях: R быстро возрастает при уменьшении f_{mp} . При больших значениях f_{mp} чувствительность быстро уменьшается.

Определим скорость изменения λ в зависимости от коэффициента трения f_{mp} .

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda}{df} &= (1 - \varepsilon) \frac{f_{mp}^2 \frac{2f_{mp}}{2\sqrt{1 + f_{mp}^2}} - (1 + \sqrt{1 + f_{mp}^2}) 2f_{mp}}{f_{mp}^4} = -(1 - \varepsilon) \frac{2(1 + \sqrt{1 + f_{mp}^2}) + f_{mp}^2}{f_{mp}^3 \sqrt{1 + f_{mp}^2}} = \\ &= -\frac{1 + 2\sqrt{1 + f_{mp}^2} + 1 + f_{mp}^2}{f_{mp}^3 \sqrt{1 + f_{mp}^2}} = -\frac{(1 + \sqrt{1 + f_{mp}^2})^2}{f_{mp}^3 \sqrt{1 + f_{mp}^2}} (1 - \varepsilon). \end{aligned} \quad (12)$$

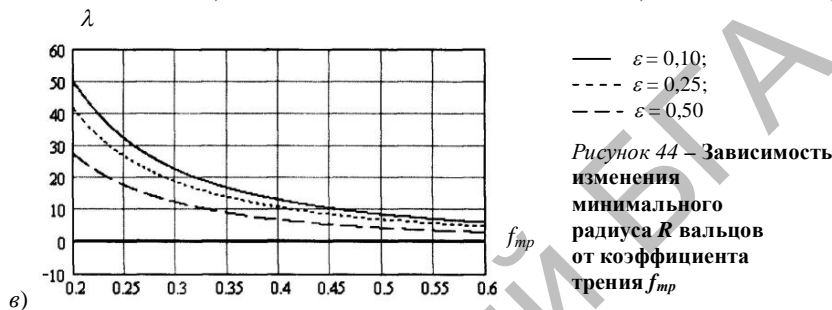
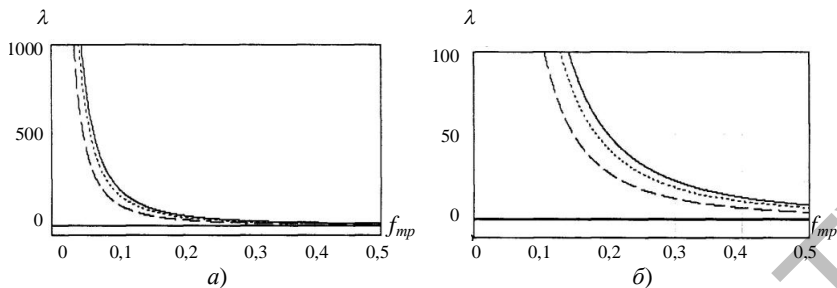


Рисунок 44 – Зависимость изменения минимального радиуса R вальцов от коэффициента трения f_{mp}

Знак « \leftarrow » в данном случае говорит о том, что коэффициент трения f_{mp} и λ противоположны друг другу: с уменьшением f_{mp} λ возрастает, и наоборот.

На рисунке 45 представлена теоретическая зависимость $\lambda = f(\varepsilon)$, рассчитанная по формуле (12) для различных значений коэффициента трения. Анализируя данную зависимость, можно сказать, что чем меньше степень сжатия зерна, тем меньший радиус вальца можно применить.

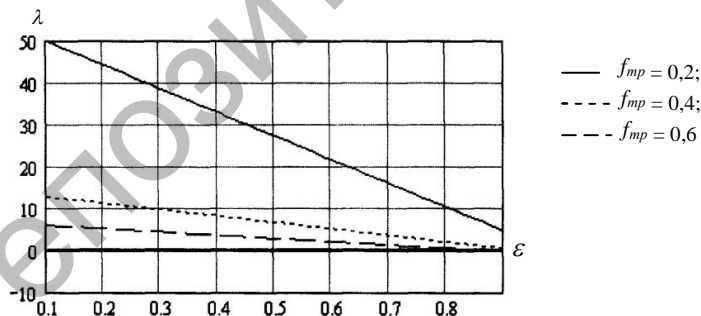


Рисунок 45 – Графическая зависимость минимального радиуса вальца R от степени сжатия ε

На рисунке 46 показана графическая зависимость $f_{mp} = f(\varepsilon)$, рассчитанная по формуле (12) для различных значений λ .

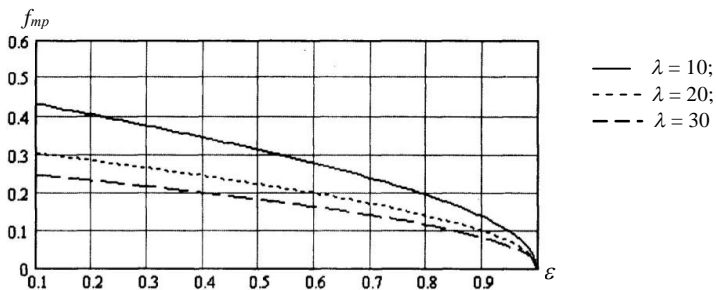


Рисунок 46 – Графическая зависимость коэффициента трения f_{mp} от степени сжатия ϵ

Из данной зависимости и формулы (12) следует, что чем меньше степень сжатия зерна, тем при меньшем коэффициенте трения происходит его заклинивание. В пределе при $\epsilon \rightarrow 1$ (то есть $r \rightarrow \Delta_1$) коэффициент $f \rightarrow 0$, то есть при очень маленьком сжатии и близком равенстве поперечных размеров зерна расстоянию между вальцами Δ_1 теоретически заклинивание будет происходить при бесконечно малом коэффициенте трения. Это вполне понятно, так как угол $\alpha \approx 0$, реакции N направлены почти горизонтально, а силы трения F – почти вертикально, и в начальный момент соприкосновения зерна с вальцами сила тяжести зерна G вызывает значительные по величине силы N . На рисунке 47 приведена номограмма для расчета необходимого диаметра вальца по формуле (12) и $\lambda = R/r$.

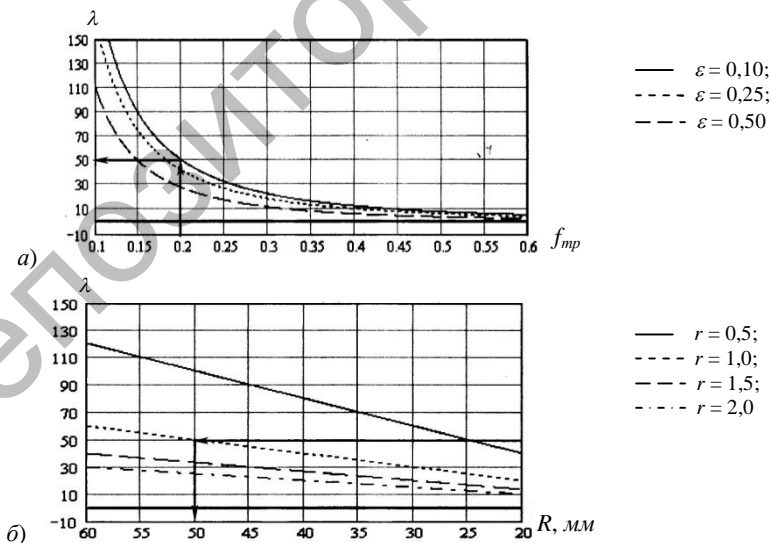


Рисунок 47 – Номограмма для определения необходимого радиуса вальца R

Зная коэффициент трения f_{mp} зерна о материал вальца, на рисунке 47а поднимаемся вертикально по стрелке до кривой, отвечающей требуемой степени сжатия (плющения), и определяем отношение λ . Затем на рисунке 47б находим соответствующее значение ϵ и по горизонтالي проводим стрелку по прямой, отвечающей соответствующему поперечному размеру r зерна, и, опускаясь по вертикали вниз, находим минимально необходимый радиус вальца.

При $f_{mp} \rightarrow 0$ и $\epsilon \rightarrow 1$ необходимый радиус вальца $R \rightarrow 0$. Если предположить, что в формуле (11) $\lambda = 0$, получим формулу, связывающую f_{mp} и ϵ :

$$\epsilon = \frac{1}{\sqrt{1 + f_{mp}^2}}. \quad (13)$$

Из данной формулы вытекает, что при $f_{mp} = 0$ имеем $\epsilon = 1$. Если же коэффициент трения $f_{mp} \neq 0$, то $\epsilon < 1$.

Заключение

В результате аналитических исследований установлено:

1. Для поступления частицы материала на измельчение в вальцовый узел необходимо соблюсти условие – угол трения частицы по вальцам должен быть больше угла захвата вальцов.

2. Минимальный радиус вальцов определяется коэффициентом трения частицы о поверхность вальцов и радиусом частиц (размером частиц измельчаемого материала).

20.08.13

Литература

1. Шило, И.Н. Современные технические средства для плющения зерна / И.Н. Шило, Н.А. Воробьев // Агропанорама. – 2007. – № 4. – С. 4–7.
2. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методика испытаний: ОСТ 70.19.2–83 СССР. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 114 с.
3. Байдов, А.В. Технология и агрегат для приготовления комбикорма из плющеного фуражного зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Байдов; Рязан. гос. с.-х. акад. им. П.А. Костычева. – Рязань, 2005. – 22 с.

УДК 631.223.6:636.084.74

**В.Н. Гутман, С.П. Рапович,
С.А. Цалко, А.А. Зубарик, А.А. Будько**
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

**РАЗРАБОТКА
ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ РАЗДАЧИ СУХИХ
КОМБИКОРМОВ
СВИНЬЯМ**

Введение

В условиях рыночных отношений на первый план для сельскохозяйственных предприятий выходят проблемы организации рентабельного производства продукции животноводства, где определяющим факто-