

УДК 636.085:7:631.363.21

А.И. Пуцько, 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:

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

где r – радиус частицы, m ;

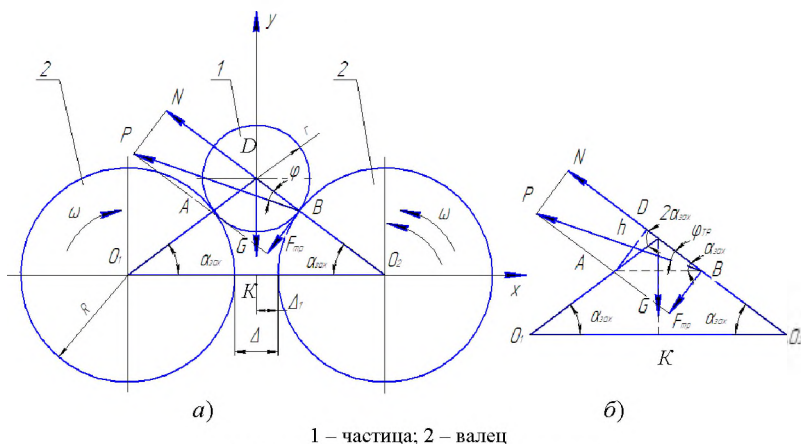
$h = r \cdot \sin 2\alpha_{зак}$ – плечо действия силы N , m ;

G – сила тяжести, H ;

$\alpha_{зах}$ – угол захвата вальцов.

Исходя из закона Амонтона-Кулона, $F_{mp} = f_{mp}N$, определим реакцию N :

$$N = \frac{G \cos \alpha_{зах}}{\sin 2 \alpha_{зах} - f_{mp} (1 + \cos 2 \alpha_{зах})} \quad (1)$$



1 – частица; 2 – валец
а) общая схема; б) схема приложения сил

Рисунок 43 – Схемы к определению условия захвата частицы вальцами

Явление заклинивания частицы развивается следующим образом. Возникающая сила трения F_{mp} стремится повернуть частицу по часовой стрелке, что вызывает увеличение реакции N . Это, в свою очередь, вызывает увеличение силы трения F_{mp} , что приводит к увеличению реакции N и т.д., до достижения предела прочности частицы, при котором происходит ее разрушение. Если гипотетически увеличивать предел прочности частицы до бесконечности, то реакция N также будет стремиться к бесконечности. При этом знаменатель дроби выражения (1) будет стремиться к нулю:

$$\sin 2 \alpha_{зах} - f_{mp} (1 + \cos 2 \alpha_{зах}) = 0.$$

Учитывая, что $\sin 2 \alpha_{зах} = 2 \cdot \sin \alpha_{зах} \cdot \cos \alpha_{зах}$ и $1 + \cos 2 \alpha_{зах} = 2 \cdot \cos^2 \alpha_{зах}$, получаем $f_{mp} = \operatorname{tg} \alpha_{зах}$, а так как $f_{mp} = \operatorname{tg} \varphi_{mp}$, то $\varphi_{mp} = \alpha_{зах}$.

Очевидно, что заклинивание будет происходить и при $\varphi_{mp} \geq \alpha_{зах}$. Следовательно, окончательно имеем условие заклинивания:

$$\varphi_{mp} \geq \alpha_{зах} \quad (2)$$

где φ_{mp} – угол трения частицы о валец (угол между результирующей силой от заклинивания P и нормальной составляющей N).

Полученное выражение 2 (условие захвата частицы вальцами) будет более точным, так как учитывает влияние силы тяжести G . Другим необходимым условием продвижения частицы через вальцы является ее смятие (или сжатие). Если частица абсолютно твердая, то механизм

«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 « \rightarrow » 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

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

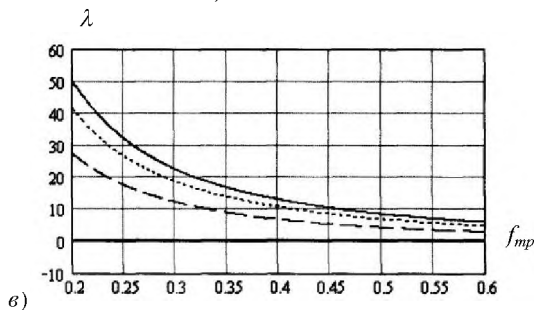
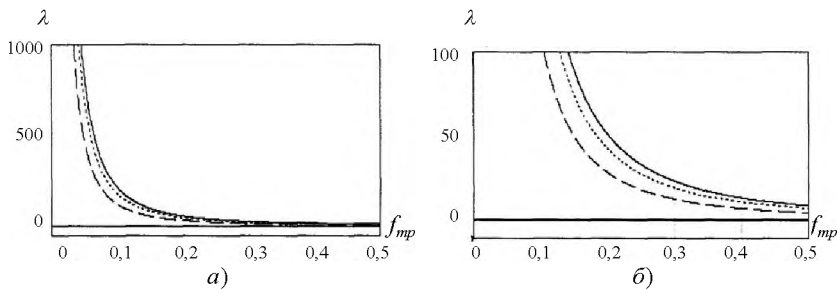
На рисунке 44 иллюстративно показан характер изменения зависимостей $\lambda = f(f_{mp})$, представляющих собой гиперболы. Данные теоретические зависимости λ от коэффициента трения f_{mp} для различного ε , имеющего значения 0,1; 0,25 и 0,5, рассчитаны по формуле (11).

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} .

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



— $\varepsilon = 0,10$;
 - - - $\varepsilon = 0,25$;
 - · - $\varepsilon = 0,50$

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.

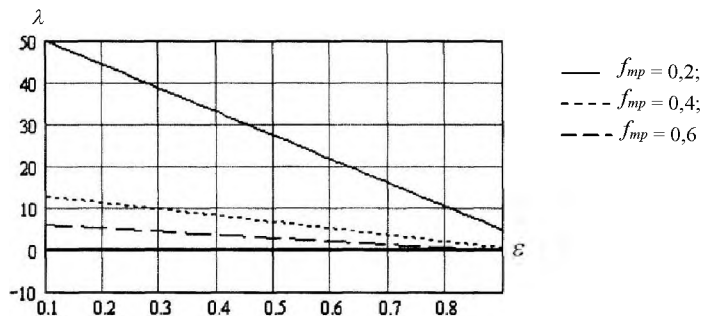


Рисунок 45 – Графическая зависимость минимального радиуса вальца R от степени сжатия ε

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

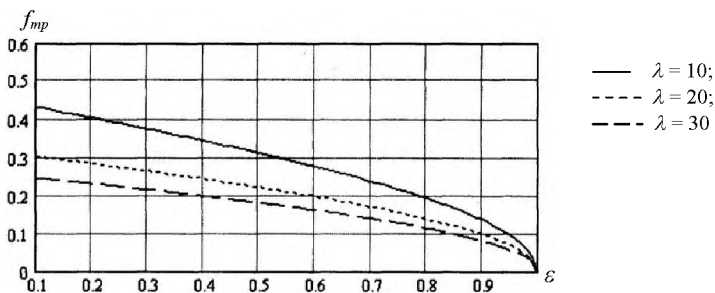


Рисунок 46 – Графическая зависимость коэффициента трения f_{mp} от степени сжатия ϵ

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 $\lambda = R/r$.

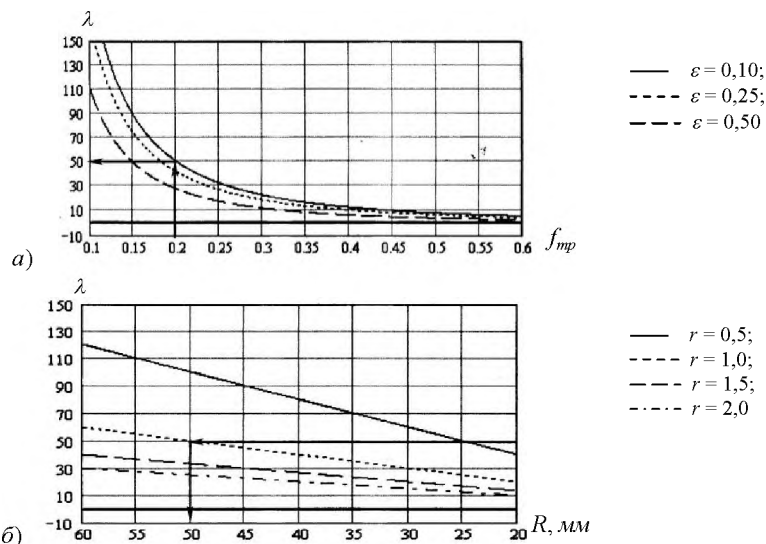


Рисунок 47 – Номограмма для определения необходимого радиуса вальца R

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

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

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

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-