

Подставляя в данные уравнения действительные значения температуры и массы, полученные в результате исследований, получим величину продуктивности животных. Очень важно при разработке АСУ ТП кормления и микроклимата учитывать и проектировать общую информационную базу (рис.4).

Такой подход позволит обеспечить согласованное управление основными технологическими процессами производства свинины. Упорядочив процессы кормления и микроклимата, можно решать задачи по оптимизации производства в целом, включая учет и прогноз.

Литература

1. Сайтов В., Подольская Л. Свиноводство. Три этапа модернизации // Новое сельское хозяйство. № 1, 2002.-с.34-36.

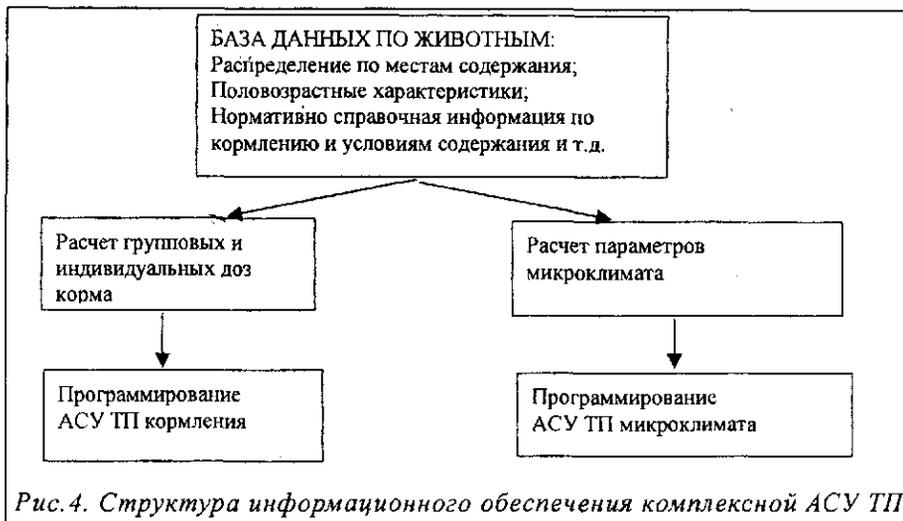


Рис.4. Структура информационного обеспечения комплексной АСУ ТП.

2. Гируцкий И.И. и др. Переснащение системы кормораздачи на свинокомплексах Беларуси // Сельскохозяйственный вестник, № 12, 2001.-С. 18-19.

3. Разработать научные основы построения компьютерных си-

стем управления технологическими и производственными процессами в животноводстве./ Отчет о научно-исследовательской работе. Научн. рук. Гируцкий И.И., № ГР 20012030, Минск, БГАТУ, 2001.-76 с.

УДК 636.085.51/54:631.363.2

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ СИЛОСОВАННЫХ КОРМОВ

Д.Н. КОЛОСКО (БГАТУ)

Ранее проведенными исследованиями [1,2] установлено, что отделение стружки силосованных кормов от массива в процессе фрезерования происходит по трем поверхностям: одной лобовой и двум, ограничивающим ширину ножа. Тип и расположение ножей определяют следующие основные способы отделения стружки от массива: блокированный, шелевой, полусвободный и свободный. При блокированном и шелевом способах происходит срезание стружки по трем поверхностям, полусвободном – по двум и свободном – по одной.

Для фрезерных барабанов наиболее рациональным является сочета-

ние полусвободного способа со шелевым (по концам барабана). Усилие сопротивления резанию ножом зависит от числа поверхностей, по которым происходит резание и, следовательно, от способа отделения стружки. Для учета сопротивлений по поверхностям, ограничивающим ширину ножа, вводят коэффициенты блокировки, которые, в свою очередь, зависят от толщины срезаемой стружки и являются величинами непостоянными.

Более точное значение усилия сопротивления резанию можно вычислить для полусвободного способа, определив сопротивление по лобовой поверхности и одной поверхности, ограничивающей ширину ножа.

При фрезеровании силосованных кормов полусвободным способом энергия затрачивается на срезание стружки по лобовой поверхности, одной поверхности, ограничивающей ширину ножа, и на отбрасывание срезанной стружки.

Основным показателем эффективности работы погрузчика силосованных кормов является удельная энергоемкость процесса срезания и отбрасывания стружки E , Дж/кг или Дж/т:

$$E = \frac{A}{m} = \frac{A}{l_n \cdot S \cdot \rho} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{l_n \cdot S \cdot \rho}, \quad (1)$$

где A_1 и A_2 – работа (энергия), затрачиваемая на отделение

стружки соответственно по лобовой поверхности и по поверхности, ограничивающей ширину ножа, Дж;

A_1 – работа (энергия), затрачиваемая на отбрасывание стружки, Дж;

m – масса слоя, срезаемая одним ножом, кг;

l_n – ширина лезвия ножа, м;

S – площадь сечения срезаемой стружки, м²;

ρ – плотность корма в хранилище, кг/м³.

Для плоскопараллельного перемещения фрезы работу A_1 определим по ранее установленной зависимости [3]:

$$A_1 = \int_{t_0}^{t_k} P(t) \frac{dL(t)}{dt} dt, \quad (2)$$

где $P(t)$ – сопротивление резанию, Н;

$L(t)$ – зависимость пути резания стружки от времени, м.

Сопротивление резанию силоса ножом с шириной лезвия $l_n = 0,03$ м с учетом угла наклона лезвия к горизонту α по экспериментальным данным [3]:

$$P(\alpha) = 269,16 - 19,66\alpha + 46,26\alpha^2, \quad (3)$$

где α – угол, на который нож отклоняется от горизонтальной плоскости (полагаем, что стебли уложены горизонтально, т.е. при $\alpha = 0$ происходит резание их вдоль, а при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ – поперек волокон).

Для ножа фрезерного барабана, срезающего стружку

$$\alpha(t) = \frac{\pi}{2} - \omega_2(t - t_0) - \gamma, \quad (4)$$

где ω_2 – угловая скорость вращения барабана, рад/с;

$$t_0 = \frac{2\pi}{\omega_2 \cdot z} - \text{промежуток времени между прохождением первого и второго ножа через точку отсчета, с;}$$

γ – угол установки ножа на фрезерном барабане (отклонение от перпендикулярного положения ножа к радиусу), рад;

z – число ножей в диаметральном сечении фрезы.

Учитывая, что $P(l_n) = b_0 + b_1 l_n$ [4] и зависимость (4), формулу (3) можно представить в виде:

$$P(t) = b_0 + \frac{P[\alpha(t)] - b_0}{0,03} l_n, \quad (5)$$

где b_0 – свободный член уравнения регрессии (для силоса $b_0 = 86,33$ Н);

b_1 – коэффициент уравнения регрессии (для силоса $b_1 = 8020$ Н/м).

Если ножи на барабане установлены под углом τ , то резание происходит со скольжением. В этом случае усилие резания уменьшается, что можно учесть введением коэффициента η , который определяем по выражению [4]:

$$\eta = \frac{359,02 - 89,63 \cdot \tau}{359,02}$$

Длина пути резания стружки [3]

$$L_{c1} = \int_{t_0}^{t_k} \sqrt{\left(\frac{dx_2}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_2}{dt}\right)^2} dt = \int_{t_0}^{t_k} \sqrt{a + b \cdot \cos(\omega_2 t - \beta_T)} dt, \quad (6)$$

где t_0 и t_k – время соответственно начала и окончания резания стружки, с;

$$a = v^2 + r^2 \cdot \omega_2^2; \quad b = 2v \cdot r \cdot \omega_2.$$

v – скорость опускания фрезы, м/с;

r – радиус фрезы, м;

$$\beta_T = \frac{2\pi}{z} - \text{угол между ножами 1 и 2, рад.}$$

Время начала резания стружки t_0 определяем путем решения уравнения:

$$v \cdot t_0 = \frac{\pi \cdot v}{\omega_2 \cdot z} + r \cdot \sin(t_0 - t_n)$$

численным методом относительно t_0 , а время окончания резания стружки t_k определяем по формуле:

$$t_k = t_0 + \frac{1}{\omega_2} \arccos(1 - \varepsilon),$$

где $\varepsilon = \frac{h}{r}$.

Площадь сечения стружки

$$S = (x_a + h - r)y_0 + \left(r^2 - \frac{2v \cdot x_a}{\omega_2}\right) \arccos \frac{x_a}{r} + \left(\frac{2v}{\omega_2} - x_a\right) \sqrt{r^2 - x_a^2}, \quad (7)$$

где $x_a = r \cdot \cos(\omega_2 \cdot t_n - \beta_T)$;

h – подача (перемещение погрузчика в горизонтальном направлении), м;

$$y_0 = \frac{2\pi \cdot v}{\omega_2 \cdot z}$$

Для определения работы A_2 вычислим среднюю толщину срезаемой стружки

$$h_{cp} = \frac{S}{L_{c1}},$$

используя выражения (7) и (6):

$$h_{cp} = \frac{(x_a + h - r) + \left(r^2 - \frac{2v \cdot x_a}{\omega_2}\right) \arccos \frac{x_a}{r} + \left(\frac{2v}{\omega_2} - x_a\right) \sqrt{r^2 - x_a^2}}{\int_{t_0}^{t_k} \sqrt{a + b \cos(\omega_2 t - \beta_T)} dt}$$

а затем

$$P(h_{cp}) = b_0 + b_1 h_{cp}. \quad (8)$$

Таким образом,

$$A_2 = P(h_{cp}) \cdot L(t). \quad (9)$$

Сопротивление резанию при увеличении скорости резания уменьшается. Эту зависимость можно определить для кукурузного силоса по выражению [5]:

$$k = \frac{75 \cdot 10^{-0,00129 \cdot v_1^{2,26}} + 40}{115},$$

где v_1 – окружная скорость ножей, м/с.

При резании силосованных кормов с большими скоростями возникает дополнительное динамическое сопротивление отбрасыванию срезаемого слоя стружки, который в начале процесса срезания находится в покое, а в конце – приобретает скорость ножа. В нашем случае этому способствуют кронштейны для крепления ножей, приваренные к барабану. При вращении они ударяют по срезаемой стружке. Имеет место приращение скорости, связанное с ускорением, которое можно определить как отношение приращения скорости к соответствующему промежутку времени

$$a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

На величину динамического эффекта влияют жесткость ножей и рабочего органа, упругость трансмиссии и т.д. Нас в данном случае интересует динамическое сопротивление и затрачиваемая работа:

$$P_o = m \cdot a_1,$$

$$A_3 = m \cdot a_1 \frac{L_{cl}}{3}, \quad (10)$$

где $a_1 = \frac{v_2 - v_0}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_0}{t_k - t_n}$ – ускорение массы срезаемого слоя, м/с²;

v_2 – скорость массы в момент отрыва, равная скорости кронштейна ножа, м/с;

$v_0 = 0$ – начальная скорость срезаемого слоя, м/с.

При фрезеровании массива силосованных кормов фрезерным барабаном с качающейся стрелой, энергоемкость процесса определяется подобным же образом с учетом некоторых особенностей. При определении угла α , на который отклоняется нож от горизонтальной плоскости, необходимо учитывать угол φ_0 :

$$\alpha(t) = \frac{\pi}{2} - \omega_2(t - t_0) - \gamma - \varphi_0,$$

где φ_0 – начальный угол положения штанги относительно оси Ox , рад.

Длину пути резания стружки L_{c2} определяем по формуле [6]:

$$L_{c2} = \int_{t_n}^{t_k} \sqrt{a_2^2(t-T) \cdot \rho_2(t)^2 + \left(\frac{R \cdot r \omega_2 \cdot \sin(\omega_2 t - \beta_T)}{\rho_2(t)} \right)^2} dt, \quad (11)$$

$$\text{где } a_2(t) = \omega_1 + \frac{r \cdot \omega_2 (r + R \cdot \cos \omega_2 t)}{R^2 + r^2 + 2R \cdot r \cdot \cos \omega_2 t};$$

R – радиус штанги, м;

ω_1 – угловая скорость поворота штанги, рад/с;

$$T = \frac{\beta_T}{\omega_2} = t_0;$$

$\rho_2(t)$ – радиус-вектор, очерчивающий траекторию ножа 2, определяемый по формуле:

$$\rho_2(t) = \sqrt{R^2 + r^2 + 2 \cdot R \cdot r \cdot \cos(\omega_2 t - \beta_T)}.$$

Площадь сечения в продольно-вертикальной плоскости [6]:

$$S_c = \frac{1}{2} (S_2 - S_1 - S_3), \quad (12)$$

где

$$S_2 = \int_{t_n}^{t_k} a_2(t-T) \rho_2(t)^2 dt; \quad S_1 = \int_{t_c}^{t_1} a_2(t) \rho_1(t)^2 dt;$$

$$S_3 = \omega_1 \int_{t_{n3}}^{t_{k3}} \rho_3(t)^2 dt;$$

$$t_{n3} = t_1 + \frac{\alpha_1(t_1)}{\omega_1} \quad \text{и} \quad t_{k3} = t_k + \frac{\alpha_2(t_k)}{\omega_1} - \text{ время на-}$$

чала и окончания очерчивания траектории радиус-вектором ρ_3 ;

$$\rho_1(t) = \sqrt{R^2 + r^2 + 2R \cdot r \cdot \cos \omega_2 t} - \text{ радиус-вектор,}$$

очерчивающий траекторию ножа 1;

$$\rho_3(t) = \sqrt{h^2 + (R+r)^2 - 2h(R+r) \cos \gamma_3(t)} - \text{ радиус-}$$

вектор, очерчивающий линию продольно-вертикального сечения свободной поверхности монолита;

$$\alpha_1(t) = \arctg \frac{r \cdot \sin \omega_2 t}{R + r \cdot \cos \omega_2 t}; \quad \alpha_2(t) = \arctg \frac{r \cdot \sin(\omega_2 t - \beta_T)}{R + r(\cos \omega_2 t - \beta_T)};$$

t_c и t_1 – время начала и окончания резания стружки ножом 1;

t_n и t_k – время начала и окончания резания стружки ножом 2;

$$t_n = T - t_c.$$

Значения t_c , t_k и t_1 определяли, решая численным методом уравнения:

$$\omega_1 t_c + \alpha_1(t_c) - \frac{\beta_T \omega_1}{2\omega_2} = 0;$$

$$h^2 + 2R \cdot r [1 - \cos(\omega_2 t_x - \beta_T) - 2 \cdot h \cdot (R+r) \cos \gamma_2(t_x)] = 0;$$

$$h^2 + 2R \cdot r (1 - \cos \omega_2 t) - 2h(R+r) \cos \gamma_1(t) = 0,$$

где $\gamma_1(t) = \varphi_1(t) - \arcsin \frac{h \cdot \sin \varphi_1(t)}{R+r};$

$$\gamma_2(t) = \varphi_2(t) - \arcsin \frac{h \cdot \sin \varphi_2(t)}{R+r};$$

$$\varphi_1(t) = \varphi_0 + \omega_1 t + \alpha_1(t); \quad \varphi_2(t) = \varphi_0 + \omega_1 t + \alpha_2(t).$$

Подставив в выражение (2) значения $P(t)$ и L_{c2} ,

определяем работу A_1 . Затем определяем $h_{cp} = \frac{S_C}{L_{c2}}$,

разделив выражение (12) на выражение (11), и, подставив h_{cp} в выражение (8), определяем $P(h_{cp})$. Работу A_2 определяем по выражению (9).

Для определения работы A_3 на отбрасывание срезанной стружки известны все исходные данные v_2 , t_x , t_n и т.д.

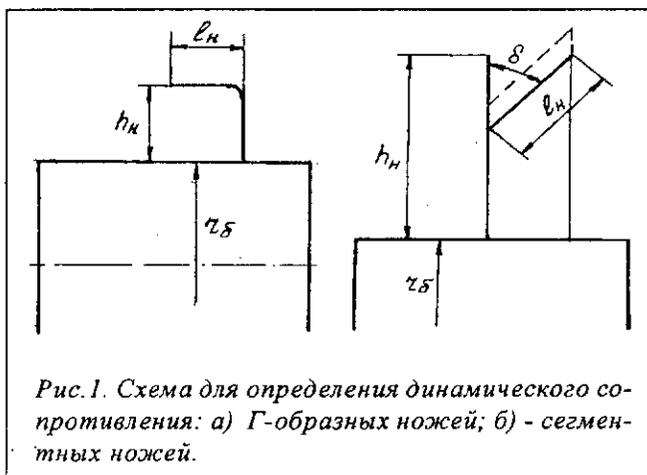


Рис. 1. Схема для определения динамического сопротивления: а) Г-образных ножей; б) - сегментных ножей.

При использовании Г-образных ножей (рис., а) объем срезаемой стружки равен площади сечения стружки, умноженной на длину ножа. Если используются сегментные ножи, установленные перпендикулярно оси барабана и под некоторым углом δ (рис., б), то объем срезаемой стружки определяется по выражению:

$$V = S_C \cdot l_H \cdot \sin \delta.$$

Скорость ножей барабана:

$$v_1 = \omega_2 \cdot r = \omega_2 (r_0 + h_H),$$

где r_0 - радиус барабана, м;

h_H - вылет кронштейна, м.

Расчет по приведенным выражениям для фрезерного барабана с качающейся штангой при исходных параметрах: $r = 0,27$ м; $R = 5$ м; $\omega_2 = 62,83$ рад/с; $z = 1$; $\omega_1 = 0,0084$ рад/с; $h = 0,15$ м показал, что удельная энергоёмкость составляет $4,4625 \cdot 10^6$ Дж/т и

при тех же первых четырех исходных данных и $\omega_1 = 0,0065$ рад/с и $h = 0,2$ м - $5,1581 \cdot 10^6$ Дж/т. Расчетная производительность - 18,7 т/ч при плотности монолита корма $\rho = 500$ кг/м³.

По данным приемочных испытаний Белорусской МИС опытного образца погрузчика-раздатчика кормов ПР-Ф-8 [7] удельная энергоёмкость процесса фрезерования кукурузного силоса составила 1,18 кВт·ч/т ($4,248 \cdot 10^6$ Дж/т) при производительности на погрузке 18,7 т/ч, т.е. энергоёмкость, определенная по расчетным формулам отличается от фактической на 5...21,4 %.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования предложены зависимости для определения удельной энергоёмкости процесса фрезерования силосованных кормов аналитическим способом на стадии проектирования фрезерных рабочих органов.

Литература

1. Ткач В.Д. Исследование влияния способа срезания стружки типа ножа на удельную работу резания силоса // Тракторы и сельхозмашины. - 1968. - №3. - с. 27-28.
2. Ткач В.Д. Исследование и обоснование основных параметров рабочих органов и режимов фрезерования для погрузки силосованных и грубых кормов. Автореф. дисс. канд. техн. наук. - Киев, 1968. - 27с.
3. Нагорский И.С., Семкин Н.И., Колоско Д.Н. Моделирование фрезерования стебельчатых кормов // Научно-технические проблемы механизации и автоматизации животноводства Сб. науч. трудов. том 10, ч. 2. Подольск, 2001. с. 141 - 148.
4. Нагорский И.С., Семкин Н.И., Колоско Д.Н. Исследование процесса резания стебельчатых кормов // Научно-технические проблемы механизации и автоматизации животноводства Сб. науч. трудов. том 9, ч. 2. Подольск, 2000. с. 73 - 77.
5. Nagorski I., Semkin N., Kolosko D., Romaniuk W., Karbowy A. Badania rozdrabniania pasz todygowych // Problemy intensyfikacji produkcji zwierzeczej z uwzglednieniem ochrony srodowiska i przepisow ue: Materiały VI miedzynarodowa konferencja naukowa/ Institut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa - Warszawa, 2000, s. 349-354.
6. Нагорский И.С., Семкин Н.И., Колоско Д.Н. Обоснование параметров фрезерного барабана для выгрузки стебельчатых кормов // Современные проблемы сельскохозяйственной механики. - Мн., 1999. ч. 2. - с. 37 - 44 (Материалы международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика М.Е. Машеуро).
7. Протокол № 49-2001 от 23 ноября 2001 года приемочных испытаний опытного образца погрузчика-раздатчика кормов ПР-Ф-8 Белорусской машиноиспытательной станции.