

ПРОЦЕСС ПЛОЩЕНИЯ ВЛАЖНОГО ЗЕРНА ВАЛЬЦОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

А.Д. Селезнев, к.т.н., ст.н.сотр., В.И. Хруцкий, н.сотр.,

А.И. Пузыко, к.т.н., вед.н.сотр., Д.И. Романчук, инж.

Республиканское унитарное предприятие

«Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» (г. Минск, Республика Беларусь)

Состояние вопроса и задачи исследований. Площилки зерна представляет собой сложную динамическую систему, работающую в условиях изменяющихся внешних воздействий, обусловленных разнообразными факторами. В связи с этим анализ рабочего процесса плошллки должен производиться с учетом статистической природы факторов, определяющих особенности функционирования его рабочих органов при выполнении технологических операций.

В процессе площения можно выделить несколько основных стадий: предварительное сжатие, площение (разрушение) [1], вывод материала. Технологический процесс площения зернофуража сводится к деформации и разрушению структуры частиц массы вальцами. Эффективность раздавливания и разрушения структуры частиц зависит в основном от приложенного к вальцам внешнего давления, сжимающего материал. Наличие трения между массой и поверхностями вальцов обеспечивает ее захватывание между вальцами. Вследствие приложенного давления и принудительного вращения вальцов возникают силы трения.

Процесс площения зерна вальцевыми рабочими органами. Рассмотрим работу вальцов при площении зерновых материалов. В работе [2] рассмотрены теоретические вопросы работы вальцевой зерноплошллки. Валец нажимает на слой зерна при помощи пружины или груза G . Эту силу раскладываем в соответствии с рис.39.

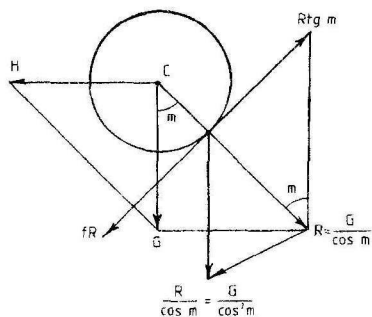


Рис.39. Схема действия сил на слой зерна

Под действием реактивной силы R на окружности вальца при вращения его развивается сила трения $f \cdot R$, которая должна быть равна или больше $R \cdot tg \cdot \mu$. Следовательно:

$$f \geq tg \cdot \mu \quad (1)$$

Тот же вывод получится, если учесть, что два вальца с одной стороны затаскивают материал по горизонтальному направлению силой $2f \cdot R \cdot \cos \mu$ в соответствии с рис.40.

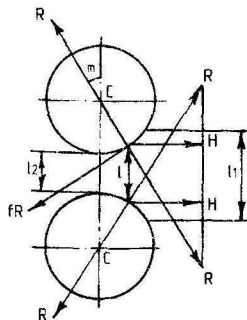


Рис.40. Схема действия сил на слой зерна двумя вальцами

Если учесть, что l_1 – начальная толщина слоя, l_2 – конечная, l – промежуточная, то

$$l_1 - l_2 = \Delta l = d(1 - \cos \mu) = d \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \mu}} \right), \quad (2)$$

где d – диаметр вальцов.

Для определения движущего момента

$$M = 2f \cdot R \cdot r, \quad (3)$$

где r – радиус вальца.

По закону Гука в соответствии с рис.41

$$P = E \frac{\frac{l_1 - l_{\Theta}}{l_1} - \frac{l_1 - l_{\Theta} - y}{l_1}}{2} = \frac{2}{l_1} \cdot \frac{l_1 - l_{\Theta} - y}{2}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости, $\frac{l_{\Theta}}{2} = \frac{l_2}{2} + y$.

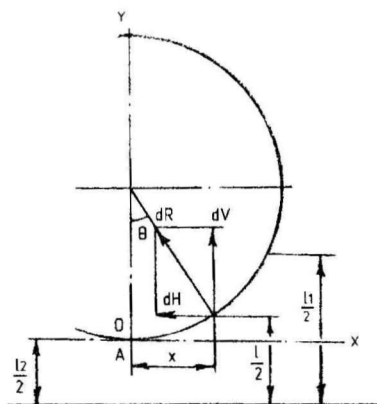


Рис.41. Схема распределения усилий на зерно по закону Гука

Передающая функция плющилки с двух-вальцевыми рабочими органами. Несмотря на имеющийся обширный теоретический и экспериментальный материал по математическому описанию плющильных рабочих органов еще отсут-

ствует математическая модель плющилок, отражающая взаимосвязь между совокупностью входных и выходных воздействий. Построение такой модели позволит оптимизировать работу плющилки по максимуму заполнения камеры плющения и наибольшей величине выходной производительности при минимуме затрат энергии на переработку материала.

Основным уравнением, характеризующим работу вальцевой плющилки, является уравнение материального баланса

$$dM_{\Sigma} / dt = Q_i(t) - Q_a(t), \quad (5)$$

где $Q_n(t)$ и $Q_a(t)$ – производительность питателя, подающего материал в камеру плющения и плющилки, кг/с;

M_{Σ} – запас зерна в камере плющения, кг.

Данное уравнение позволяет связать между собой любую пару входных и выходных координат плющилки при раскрытии функциональной зависимости между M_{Σ} , Q_n , Q_a и косвенными параметрами, зависящими от их изменения.

Структурная схема плющилки. Определим структуру объекта и дадим его математическое описание с учетом включения его в систему регулирования постоянства расхода. Структурная схема плющилки как объекта регулирования представлена на рис.42, где под возмущающим воздействием $f(t)$ понимается изменение прочности материала. При рассмотрении динамических процессов, происходящих в плющилке, видоизменим модель объекта, предположив, что на производительность плющилки в неустановившемся режиме влияет не полный запас материала M_{Σ} , а некоторое его эффективное значение $M_{эф} < M_{\Sigma}$, находящееся в непосредственном контакте в зоне выпадения плющенных хлопьев.

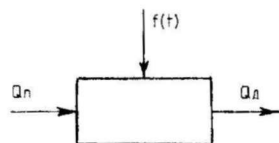


Рис.42. Плющилка в виде передаточного звена

Разделив весь объем плющилки на зоны предварительного и эффективного плющения, получим двухъемкостный объект с промежуточной координатой Q_{np} – производительностью в зоне предварительного плющения.

Применим к обеим зонам плющения уравнение материального баланса. Учитывая

$M_{\Sigma} = M_{\text{эф}} + M_{\text{нр}}$, получим

$$\begin{aligned} M_{i,\delta}(\delta) &= (\dot{Q}_i / \delta) [Q_i(\delta) - Q_{i,\delta}(\delta)] \\ M_{j\delta}(\delta) &= (\dot{Q}_{j\delta} / \delta) [Q_{j,\delta}(\delta) - Q_{j\delta}(\delta)] \end{aligned} \quad (6)$$

где $T_{\text{нр}}$ и $T_{\text{эф}}$ – постоянные, численно равные времени, необходимому для переработки материала в зонах предварительного и эффективного плющения при $Q_n(t)=0$ и $Q_\delta(t)=const$; $M_{\text{нр}}$, $M_{\text{эф}}$ – запасы материала в тех же зонах.

Мощность, потребляемая на плющение N , связана с полным запасом материала в плющилке следующим соотношением:

$$(\dot{Q}_v / \delta + 1)N(\delta) = K_N M_{\Sigma}(p), \quad (7)$$

где K_N – статический коэффициент усилия по мощности;

T_{Σ} – электрическая постоянная времени электропривода плющилки.

На основании вышеизложенных уравнений можно составить структурную схему плющилки, представленную на рис.43.

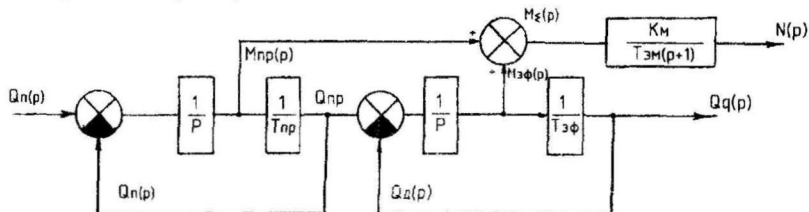


Рис.43. Структурная схема плющилки без учета запаздывания

Передаточную функцию плющилки по каналу $Q_n - N$ найдем, связав координаты структурной схемы следующими передаточными функциями:

$$\begin{aligned} M_{\text{нр}}(p) &= [T_{\text{нр}} / (T_{\text{нр}} p + 1) + 1] Q_n(p), \\ M_{\text{эф}}(p) &= [T_{\text{эф}} / (T_{\text{эф}} p + 1) + 1] Q_n(p). \end{aligned} \quad (8)$$

Так как

$$Q_{\text{нр}}(p) = [1 / (T_{\text{нр}} p + 1)] Q_n(p), \quad M_{\Sigma}(p) = M_{\text{нр}}(p) + M_{\text{эф}}(p), \quad N_p = [K_N (T_{\Sigma} p + 1)] M_{\Sigma}(p),$$

то

$$\begin{aligned} W_N(p) = N(p) / Q_n(p) &= [K_N (T_{\Sigma} p + 1) \times \\ &\times \{ [T_{\text{эф}} T_{\text{нр}} / (T_{\text{эф}} + T_{\text{нр}})] p + 1 \} / \{ (T_{\text{эф}} p + 1) (T_{\text{нр}} p + 1) (T_{\Sigma} p + 1) \}]. \end{aligned} \quad (9)$$

Поскольку $h(p) = K_N M_{\Sigma}(p)$, то передаточная функция плющилки по каналу $h - Q_n$

$$W_h(p) = [K_N (T_{\Sigma} p + 1)] / \{ [T_{\text{эф}} T_{\text{нр}} / (T_{\text{эф}} + T_{\text{нр}})] p + 1 \} / \{ (T_{\text{эф}} p + 1) (T_{\text{нр}} p + 1) \}. \quad (10)$$

Передаточную функцию плющилки по каналу $Q_\delta - Q_n$ определим из соотношений

$$\begin{aligned} Q_{\text{нр}}(p) &= [1 / (T_{\text{нр}} p + 1) + 1] Q_n(p), \\ Q_\delta(p) &= [1 / (T_{\text{эф}} p + 1) + 1] Q_n(p). \end{aligned} \quad (11)$$

Отсюда

$$W_Q(p) = Q_\delta(p) / Q_n(p) = 1 / \{ (T_{\text{эф}} p + 1) (T_{\text{нр}} p + 1) \}. \quad (12)$$

Передаточную функцию плющилки по каналу $Q_\delta - N$ получим, разделив $W(p)$ на

$$W_Q - N(p) = N(p) / Q_\delta(p) = K_N (T_{\Sigma} p + 1) \times \{ [T_{\text{эф}} T_{\text{нр}} / (T_{\text{эф}} + T_{\text{нр}})] p + 1 \} / \{ (T_{\Sigma} p + 1) \}. \quad (13)$$

Передаточные функции плющилки были найдены без учета звеньев чистого запаздывания на входе и выходе объекта. Физическая природа этих запаздываний связана с временем t свободного падения зерна с питателя в камеру плющения и временем t_2 – свободного падения плющеного зерна на выгрузной механизм.

Структурная схема плющилки с учетом звеньев чистого запаздывания приведена на рис.44. По аналогии с предыдущими выкладками получим передаточные функции вальцовой плющилки по каналам $N - Q_\delta$ и $Q_\delta - Q_n$.

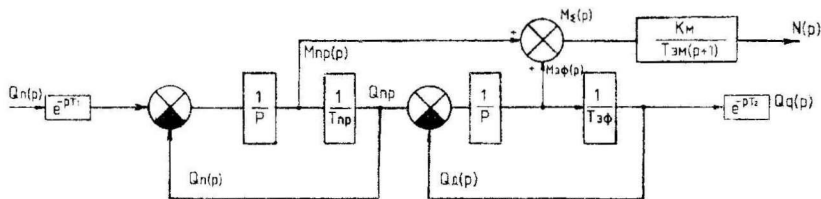


Рис.44. Структурная схема плющилки с учетом запаздывания

$$\left. \begin{aligned} W_Q - N(p) = N(p) / Q_{\Delta}(p) &= K_M / (T_{\Sigma\phi} + T_{np}) \times \\ &\times \{ [T_{\Sigma\phi} T_{np} / (T_{\Sigma\phi} + T_{np})] p + 1 \} / (T_{\Sigma\phi} p + 1) \} e^{p\tau_2}, \\ W_Q(p) = Q_{\Delta}(p) Q_n(p) &= e^{-p(\tau_1 + \tau_2)} / [(T_{\Sigma\phi} p + 1)(T_{np} + 1)]. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Определение параметров методом фазовой плоскости.

$$T_1 = T_{\Sigma\phi}; \quad T_2 = T_{np}.$$

Пренебрегая в (14) суммарным временем запаздывания $\tau = \tau_1 + \tau_2$, величина которого на несколько порядков меньше постоянных времени валцов, получим следующую систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} T_1 T_2 (d^2 Q_{\Delta} / dt^2) + (T_1 + T_2) (dQ_{\Delta} / dt) + Q_{\Delta} &= Q_n, \\ Q_0 - Q_{\Delta} &= \Delta, \end{aligned}$$

или

$$T_1 T_2 (d^2 \Delta / dt^2) + (T_1 + T_2) (d\Delta / dt) + \Delta = Q_0 - Q_n. \quad (15)$$

В соответствии с выражением линейной части системы и статической характеристикой нелинейного звена уравнения всей системы примут вид:

1) при возрастании ошибки ($d\Delta / dt > 0$)

$$\left. \begin{aligned} \text{а) } \Delta [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1] &= Q_0 - Q_n \quad \text{при } \Delta > \Delta_{cp}, \\ \text{б) } \Delta [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1] &= Q_0 \quad \text{при } \Delta < \Delta_{cp}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

2) при убывании ошибки ($d\Delta / dt < 0$)

$$\left. \begin{aligned} \text{а) } \Delta [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1] &= Q_0 - Q_n \quad \text{при } \Delta > \Delta_{om}, \\ \text{б) } \Delta [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1] &= Q_0 \quad \text{при } \Delta < \Delta_{om}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Исследуем полученные уравнения нелинейной системы методом фазовой плоскости.

Обозначим $x = \Delta$, $y = d\Delta / dt$ и, учитывая однородность уравнений (16) и (17), получим

$$\left. \begin{aligned} T_1 T_2 (dy / dt) + (T_1 + T_2)y + x &= Q_0 - Q_n, \\ T_1 T_2 (dy / dt) + (T_1 + T_2)y + x &= Q_0. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Исключая из (18) время t путем деления $du = dx / dt$

$$\left. \begin{aligned} T_1 T_2 (dy / dx) y + (T_1 + T_2)y + x &= Q_0 - Q_n, \\ T_1 T_2 (dy / dx) y + (T_1 + T_2)y + x &= Q_0. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Получим уравнения фазовых траекторий работы валцовой плющилки.

Плющение зерна рифлеными поверхностями. Механические свойства зерна зависят от его влажности [3]. При влажности более 18% оно приобретает упруго-пластические свойства. Рассматривая плющение зерна рифлеными поверхностями как внедрение клиньев в упруго-пластичное тело, суммарную силу сжатия на единицу длины клина можно определить по формуле

$$D = \frac{i}{t} E \frac{h_{сж}^2}{h} \{ \tau q \beta + f \sin^2 \beta + f \mu \cos^2 \beta \}, \quad (20)$$

где l – длина зерна;

t – шаг рифли;

E – модуль упругости;

$h_{сж}$ – величина сжатия зерна;

h – толщина зерна;

β – половина угла заострения рифли;

f – коэффициент трения,

μ – коэффициент Пуассона.

Качество площения улучшается при площении зерна со сдвигом. Это достигается, когда площильные валки вращаются с различной окружной скоростью. В этом случае силы деформации, сжимающие зерно идвигающие его частицы,

$$P_{сж} = \frac{l}{tK_p} \cdot E \frac{h^2_{сж}}{2h} \left\{ tq\beta + K_{сдв} \frac{1}{2} \sin 2\beta + f \left[\sin^2 \beta + (\mu + K_{сдв}) \cos^2 \beta \right] \cos^2 \beta \right\},$$

$$P_{сдв} = \frac{l}{t} E \frac{h^2_{сж}}{2h} \left\{ \mu + K_{сдв} + f \left[tq\beta \sin^2 \beta + (\mu + K_{сдв}) \frac{1}{2} \sin 2\beta \right] \right\},$$

где K_e , $K_{сдв}$ – коэффициенты, учитывающие удлинение зерна при сдвиге и величину сдвига зерна по отношению к его сжатию.

Выводы

Теоретические и экспериментальные исследования в области статического и динамического сжатия зерна валками позволяют сделать следующие выводы:

1. Несмотря на многочисленные исследования, не полностью раскрыты вопросы о влиянии параметров рабочих поверхностей (гладкая, рифленая) на процесс деформации зерна при статическом и динамическом сжатии.

2. Большинство работ, посвященных теоретическому и экспериментальному изучению работы валков, мало затрагивали вопрос о структуре технологического процесса площения и его математическом описании.

3. Проведенные теоретические исследования позволили приближенно построить структурную схему и дать математическое описание.

Библиография

1. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. – Т. 3: Работа валцев соломорезки. – М.: Колос, 1965.
2. Марсов, В.Н. Автоматическое управление технологическими процессами на предприятиях строительной индустрии / В.Н. Марсов. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1975. – 287 с.
3. Ромалибокый, В.С. Площение зерна рифлеными поверхностями / В.С. Ромалибокый // Механизация и электрификация с/х. – № 10. – М., 1977.

УДК 631.354

ВАЛЬЦОВЫЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

Н.А. Воробьев, аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»
(г. Минск, Республика Беларусь)

Для измельчения зерна вальцами используют машины, рабочий процесс которых основан на использовании следующих основных принципов механического воздействия: 1) резания, скалывания или крошения, 2) растирания и 3) площения или раздавливания.

Принцип резания, скалывания или крошения положен в основу работы вальцевых мельниц. Для резания зерновых кормов рабочие части (рис.45 а) выполняются в виде двух параллельных цилиндров (вальцов) с рифленой поверхностью. Оба вальца приводятся во вращение в стороны, противоположные друг другу, и с различной окружной скоростью ($v_1 \neq v_2$). При этих условиях зерно, непрерывно подводимое в рабочую щель между вальцами, захватывается последними, сжимается и режется или скалывается острыми гранями рифлей на части в виде крутки. Наряду с резанием рифлями имеет место и частичное растирание продукта [1]. Скорость быстровращающегося вальца $v_6 = 5...6$ м/с при сортовых помоях, а на V и VI дражных системах и 9-й...10-й размерных – 4,5 м/с. Отношение окружных скоростей на первых четырех дражных 1,5 или 2,5, на шлифовочных – 1,5, на первых двух-трех размольных 2,5, на остальных размольных, сходовых и вымольных системах – 1,5...1,25 м/с [2].