

ная аппроксимация проводилась по 5 выбранным точкам, что вполне достаточно для описания кривой второго порядка. Регрессионный анализ проводился без предварительной сплайн-аппроксимации,

поскольку все исследуемые кривые достаточно гладкие.

Определение суммарного числа ударов вальцов барабана и подбарабана:

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\Pi} + Z_6 = \frac{[\omega_b \cdot K \cdot \xi \cdot R^* (K-1)] 2\pi + \omega_b \cdot t_{\phi_0} \cdot i \cdot \phi_0 \cdot K_1 \cdot \omega_6 \cdot R^*}{4\pi^2 V_{\Pi}} \quad (2)$$

Рассматривая равенство (2), определяющее число ударов ребер вальцов молотильного аппарата приходим к выводу, что функциональная зависимость числа ударов и скорости поступления хлебной массы в молотильный аппарат выражается в виде степенной функции.

Все конструктивные параметры  $K, K_1, \phi_0, \xi, R^*, i$ , которые расположены в числителе, являются постоянными величинами для данного молотильного аппарата. Параметры кинематического режима работы молотильного аппарата:  $\omega_b, \omega_6, V_{\Pi}$  – изменяются в небольших диапазонах, и при конкретных конструктивных размерах они зависят от физико-механических свойств растительной массы.

Исследования зависимости числа ударов ребер вальцов барабана и подбарабана от числа граней вальцов проводилась при постоянных значениях частоты вращения, равной  $\omega = 172 \text{ с}^{-1}$ , скорости подачи  $V_{\Pi}$  изменялась в пределах 0,1...2,5 м/с, а число граней вальцов от 3 до 8.

Результаты исследований полученные с учетом приведенных математических моделей по программе Impact представлены на рис. 2.

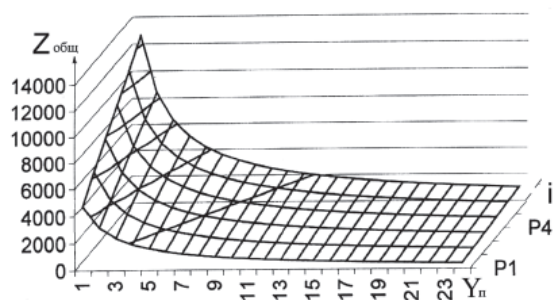


Рис. 2. Поверхность откликов числа ударов вальцов в зоне обмолота

С целью получения аналитических зависимостей числа ударов от скорости подачи хлебной массы произведем полиномиальную аппроксимацию, а затем регрессионный и корреляционный анализы для выявления характера кривых.

1. Получены зависимости (1, 2) позволяют вычислить число ударов ребер вальцового молотильно-сепарирующего устройства об обмолачиваемую массу

в зависимости от кинематического режима работы и его конструктивных параметров.

2. Экспериментальный молотильный аппарат с девятью трехгранными вальцами на барабане и шестью в подбарабанье при угловой скорости вращения вальцов подбарабана 172 рад/с и барабана 31,5 рад/с, и скорости подачи 1,5 м/с совершает более 600 ударов по хлебной массе, заполняющей зону обмолота.

### ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ МОЛОТИЛЬНОГО БАРАБАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ СИЛ

Богус Ш.Н., Букаткин Р.Н., Пономарев Р.В.

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, e-mail: pcls@bk.ru

Рабочие органы молотильных аппаратов работают в условиях воздействия на обмолачиваемую массу ударных импульсов, следующих друг за другом настолько часто, что удары, при упрощающих предположениях, можно рассматривать как непрерывные. Такое упрощение дает возможность изучить вращательное движение молотильного барабана под действием, как обыкновенных сил, так и непрерывных ударных импульсов.

Вращательное движение молотильного барабана под действием рассредоточенных импульсивных сил

Такое воздействие молотильного барабана на обмолачиваемую массу происходит при внезапной подаче массы в молотильный аппарат в установленном режиме холостого хода барабана или резком увеличении подачи в рабочем режиме работы. Допустим, что молотильный барабан вращается вокруг неподвижной оси. Система связана с телом (рис. 1). Поверхность тела, отнесенная к осям, имеет вид  $f(x, y, z) = 0$

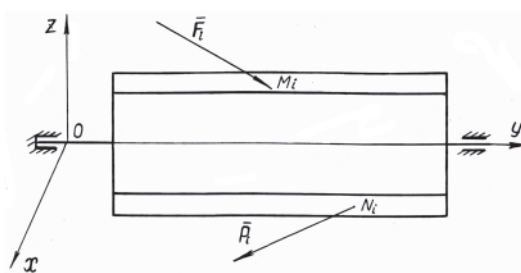


Рис. 1. Действия на молотильный барабан обыкновенных ( $\vec{F}_i$ ) и ударных ( $\vec{P}_j$ ) сил

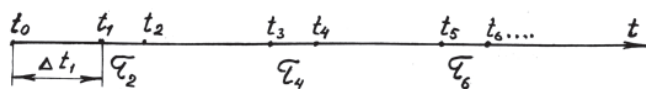


Рис. 2. Ось времени с подинтервалами

На тело действуют обыкновенные силы – активные и пассивные  $F_i$  приложенные в точках  $M_i(x_i, y_i, z_i)$ , и ударные силы  $P_j$  (импульсы которых  $\vec{S}_j$ ), приложенные в точках  $N_j(x_j, y_j, z_j)$ . Интервал времени разобьем на подинтервалы, как показано на рис. 1. При этом очевидно, что

$$\Delta t = t_k - t_{k-1} \quad (k = 2n - 1 - \text{нечетное});$$

$$\tau_k = t_k - t_{k-1} \quad (k = 2n - \text{четное}), \quad (1)$$

где  $\tau_k$  – продолжительность соответствующего удара. Тогда для  $k = 1$ , то есть в интервале  $\Delta t_1$ , движение тела описывается уравнением:

$$I_y \ddot{\phi} = \sum_{i=1}^n \text{mom}_y (\vec{F}_i). \quad (2)$$

Интегрируя выражение (2) и используя начальную угловую скорость  $\omega_0$ , найдем  $\omega_1$ , соответствующую моменту  $t_1$ . За время удара  $\tau_2$ , что соответствует

$k = 2$ , угловая скорость тела изменится на конечную величину и принимает значение.

$$\omega_2 = \omega_1 + \frac{\sum_{j=1}^m (x_j s_{jz} - z_j s_{jx})}{I_y}, \quad (3)$$

где  $I_y$  – момент инерции тела относительно оси вращения;  $s_{jx}, s_{jz}$  – проекции ударного импульса на оси координат,  $x_j, z_j$  – координаты точки приложения удара.

Для  $k = 3$  движение тела описывается уравнением (2), и начальная угловая скорость тела будет  $\omega_2$ , что позволит вычислить  $\omega_3$ , отнесенную к моменту  $t_3$ , и так далее.

В частном случае установившегося технологического процесса, когда  $\omega_2 = \omega_4 = \omega_6 \dots$ , что имеет место, например, при тормозящем действии импульсов, изучение установившегося движения ограничивается выполнением двух операций: интегрированием уравнения (2) за время  $\Delta t_1$  и применением теоремы о кинетическом моменте в связи с нахождением  $\omega_2$ , то есть использованием соотношения (3). При необходимости исследования ударной вибрации задача решается с помощью уравнения, применимого для всего времени возмущения.

$$I_y \dot{\phi} = M_{yi} + M_y (\bar{P}) \sigma_{(i)}, \quad (4)$$

где  $t_1 \leq t \leq t_{i-1}$ ;  $M_{yi}$  – совокупный момент активных и пассивных сил;  $M_y (\bar{P})$  – момент импульсивных сил;  $i$  – указатель интервала времени;

$$\sigma_{(i)} \begin{cases} 0, & \text{если } i - \text{нечетное} \\ 1, & \text{если } i - \text{четное} \end{cases}$$

Возмущение  $P$  является известной функцией времени.

В случае, когда значение времени равно или превышает  $\tau$  – время удара, то есть когда удары отсутствуют, дифференциальное уравнение имеет вид:

$$I_y \dot{\phi} = M_y [\tau \leq t].$$

**ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ МОЛОТИЛЬНОГО БАРАБАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕПРЕРЫВНЫХ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Богус Ш.Н., Букаткин Р.Н., Пономарев Р.В.

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, e-mail: pcls@bk.ru

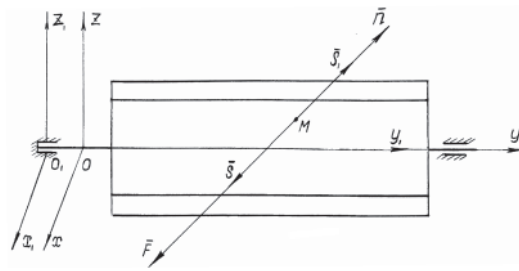
Такое воздействие молотильного барабана на обрабатываемую массу происходит при установившемся режиме подачи массы в молотильный аппарат. Допустим, что молотильный барабан вращается вокруг неподвижной оси под действием непрерывных ударных импульсов. Отнесем вращающийся барабан к неподвижной прямоугольной системе координат  $ox_1y_1z_1$ , приняв ось  $y_1$  за ось вращения. Систему осей, связанную с телом, обозначим, причем ось  $oy$  совместим с  $oy_1$  (рисунок). Уравнение поверхности, полагая ее гладкой, относительно подвижных осей  $oxyz$ , имеет вид:  $f(x, y, z) = 0$ .

Пусть частица массы  $\Delta m$  ударяет барабан в точке  $M(x, y, z)$ . Тогда ударный импульс, приложенный к барабану, определится по теореме о количестве движения

$$\vec{S} = -\Delta m (\vec{u} - \vec{v}),$$

где  $\vec{v}, \vec{u}$  – абсолютные скорости частицы до и после удара соответственно.

Очевидно, импульс  $\vec{S}_1$ , приложенный к частице, связан с  $\vec{S}$  соотношением  $\vec{S} = -\vec{S}_1$ .



Общая схема расположения импульсов

Обозначая скорости точки  $M$  барабана до удара через  $\vec{u}_e$ , а после удара  $\vec{u}_e + d\vec{u}_e$ , и принимая эту скорость за переносную, пренебрегая малой величиной  $d\vec{u}_e$ , имеем:

$$\vec{u} - \vec{v} = \vec{u}_r - \vec{v}_r, \quad (1)$$

где  $\vec{v}_r, \vec{u}_r$  – относительная скорость частицы до и после удара.

В точке  $M$  соударения частицы и барабана возьмем единичный вектор внешней нормали  $\vec{n}$  и единичный вектор  $\vec{\tau}$ , касательный к поверхности  $f(x, y, z) = 0$ , причем вектор  $\vec{\tau}$  лежит в плоскости, проходящей через вектор  $\vec{n}$  и  $\vec{v}_r$ . Тогда равенство (1) можно представить в виде:

$$\vec{u} - \vec{v} = \vec{u}_r^n + \vec{u}_r^\tau - \vec{v}_r^n - \vec{v}_r^\tau.$$

Учитывая, что для гладких поверхностей  $\vec{u}_r^n = \vec{v}_r^\tau$ , получим  $\vec{u} - \vec{v} = \vec{u}_r^n - \vec{v}_r^n$ .

Допуская применимость гипотезы Ньютона, согласно которой  $\vec{u}_r^n = -\epsilon \vec{v}_r^n$ , где  $\epsilon$  – коэффициент восстановления, получим

$$\vec{u} - \vec{v} = -(1 + \epsilon) \vec{v}_r^n.$$

Следовательно, ударный импульс, действующий на молотильный барабан, равен

$$\vec{S} = \Delta m (1 + \epsilon) \vec{v}_r^n.$$

Принимая ударный импульс как предельный случай действия больших сил в течение коротких промежутков времени, представим импульс непрерывных ударов эквивалентной силой. Используя теорему о среднем определенном интеграле для импульсов:

$$\vec{S} = \vec{F}_{cp} \Delta t, \quad \text{или} \quad F_{cp} = \frac{\Delta m}{\Delta t} (1 + \epsilon) \vec{v}_r^n,$$

откуда путем предельного перехода ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), находим

$$\vec{F} = \frac{dm}{dt} (1 + \epsilon) \vec{v}_r^n.$$

Если учесть что  $\vec{v}_r^n = -|v_r^n| \vec{n}$ , то ударная сила равна

$$\vec{F} = \frac{dm}{dt} (1 + \epsilon) \cdot |v_r^n| \vec{n}.$$

Учитывая, что момент инерции барабана  $I_y$  есть, вообще, постоянная величина, мы приходим к дифференциальному уравнению вращательного движения барабана под действием непрерывных ударных импульсов в подвижной системе координат

$$I_y \dot{\phi} = zX - xZ,$$

где  $X$  и  $Z$  – проекции силы  $\vec{F}$  на оси координат, связанные с барабаном, или

$$I_y \dot{\phi} = \frac{(1 + \epsilon) \cdot |\vec{v}_r^n|}{\Delta f} \cdot \left( z \frac{df}{dx} - x \frac{df}{dz} \right) \frac{dm}{dt}, \quad (2)$$

где  $\Delta f = |\text{grad} f|$ .