

Рис. 4. Зависимость частоты вращения электродвигателя ω от расхода Q

Выводы

В результате математического моделирования установлено, что выходной номинальной статической характеристикой расходомера является зависимость частоты вращения электродвигателя от расхода. Кроме того, общий крутящий момент на валу турбинки также является функцией расхода сыпучего материала.

Библиографический список

1. Луткин Н.И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н.И. Луткин. – М.: Колос, 1969. – 184 с.

2. Багаев А.А. Использование момента Кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернусь // Вестник АГАУ. – 2008. – № 4 (42). – С. 47-49.

3. Мерко Н.Т. Разработка и исследование расходомера для зерна и продуктов его размола / Н.Т. Мерко и др. // Сборник ЦНИИТЭИ Мингаза СССР. – 1979. – 95 с.



УДК 664.7.05:621.926.34

В.Л. Злочевский
Е.Ю. Чикина

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЛЮЩЕНИЯ ЗЕРНА
МАЯТНИКОВОГО ТИПА**

Ключевые слова: плющение, деформация сжатия, плющильный станок, криволинейная колеблющаяся поверхность, маятник, вращающийся цилиндр, мгновенный центр скоростей, дифференциальные уравнения, угловое ускорение, сила трения, минимально допустимый диаметр, угол захвата, угол трения.

Введение

Процесс плющения является распространенной технологической операцией на зерноперерабатывающих предприятиях. Он заключается в том, что исходное сырье подвергается механическому воздействию, заключающемуся в деформации сжатия между двумя движущимися кри-

волинейными поверхностями с определенной шероховатостью.

В каждом конкретном виде зерноперерабатывающего производства цели плющения зерна различны. В мукомольном производстве плющение зерна может применяться перед I драной системой в качестве предсистемы. Подобная операция используется в сортовых хлебопечкарных помолах пшеницы по сокращенной схеме и при односортном 63%-ном помоле ржи в сеяную муку. В крупяном производстве операция плющения используется в технологии производства зерновых хлопьев [1]. Производство комбикормов на основе плющения зерна с предварительной водно-тепловой обработкой приводит к повышению питательной ценности комбикормов.

Основной машиной для плющения в зерноперерабатывающей промышленности является вальцовый станок. В нем основной рабочий орган – вальцы – имеет микрошероховатую поверхность и вращается навстречу друг другу с одинаковой скоростью. Это позволяет производить первичное разрушение зерна за счет деформации сжатия и получать заданный продукт без образования отдельных раздробленных частиц.

Плющильные станки – достаточно сложный вид оборудования. Лидером в производстве плющильных станков является фирма «Бюлер». Отечественное машиностроение производством плющильных станков до недавнего времени не занималось. Сегодня некоторые фирмы («Агросимомашбуд», объединение «Бриг» (Украина), объединение «Марийагромаш») разработали свои конструкции плющильных станков, однако их конструкция существенно упрощена в отношении механизмов регулирования и соответственно дизайна [2].

Описание устройства

На кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета было разработано устройство для плющения зерна при помощи криволинейной колеблющейся поверхности, которое схематично представлено на рисунке 1.

На маятнике 1 закреплен цилиндр 2, который может совершать вращение вокруг своей оси. Исходный продукт 4 поступает на опорную поверхность 3. По ходу движения маятника вправо цилиндр, закрепленный на маятнике, проходя над

зерном, оказывает на него усилие, и за счет возникающих сил трения между ним и продуктом поворачивается вокруг своей оси в сторону, противоположную движению маятника. Таким образом, в зоне плющения, точке М, возникает мгновенный центр скоростей, в котором суммарная линейная скорость движения системы равна нулю, и усилие, с которым цилиндр действует и разрушает зерно, сводится к усилиям сжатия. В результате образуются продукты плющения. При движении маятника влево происходит аналогичный процесс. Траектория движения цилиндра и радиус кривизны опорной поверхности являются эквидистантными.

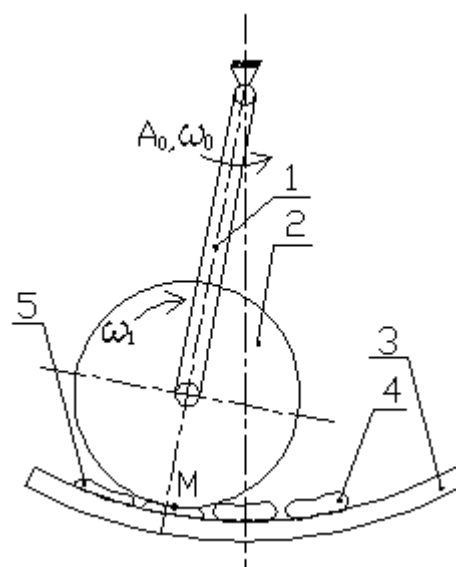


Рис. 1. Функциональная схема устройства для плющения зерна при помощи криволинейной колеблющейся поверхности:
1 – маятник; 2 – вращающийся цилиндр;
3 – опорная поверхность;
4 – исходный продукт;
5 – продукты плющения

Теоретические расчеты

Описание движения основного рабочего органа. Для теоретического описания движения системы, состоящей из маятника и цилиндра, были использованы дифференциальные уравнения вращательного и плоского движения тела. Все движение системы можно условно разбить на две части.

1. Система маятник-цилиндр, представляющая собой в общем случае физический маятник, движется из положения I-I (рис. 2 а).

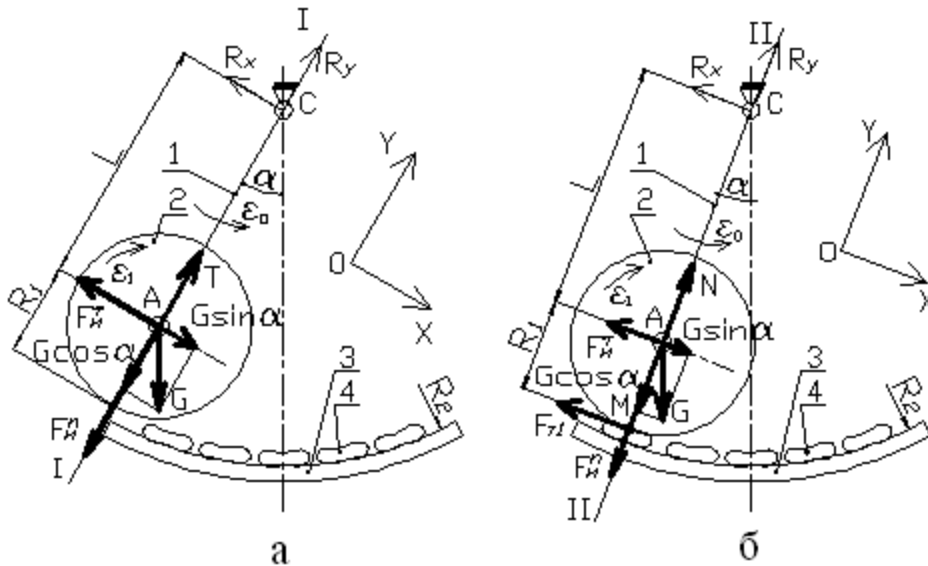


Рис. 2. Схема движения системы маятник-цилиндр:
1 – маятник; 2 – цилиндр; 3 – опорная поверхность; 4 – зерновой продукт

Положение II характеризуется углом отклонения маятника α . В данном случае на систему действуют сила тяжести G , сила сопротивления растяжению стержня маятника T , сила инерции F_n маятника, которая разлагается на две составляющие – касательную F_n^t и нормальную F_n^n силы инерции, и реакция связи, которая также разлагается по оси Ox и Oy на две составляющие – R_x и R_y .

Возвращающая сила F маятника равна:

$$F = G \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где m – масса системы, равная массе цилиндра, массой стержня маятника пренебрегают;

g – ускорение свободного падения.

Сила сопротивления растяжению стержня маятника T , нормальная составляющая силы инерции маятника F_n^n , составляющие силы тяжести $G \cos \alpha$ и реакции связи R_y уравнивают друг друга.

Дифференциальное уравнение вращательного движения системы относительно оси C запишется в следующем виде:

$$I_C \cdot \ddot{\phi}_0 = \sum M_C = F \cdot L - F_n^t \cdot L, \quad (2)$$

где I_C – момент инерции системы относительно оси C ;

$\ddot{\phi}_0$ – вторая производная по времени

от угла поворота системы, $\dot{\phi}_0 = \varepsilon_0$, где ε_0 – угловое ускорение системы;

$\sum M_C$ – сумма моментов всех сил, действующих на систему, относительно оси C ;

L – длина стержня маятника.

Касательная, составляющая силы инерции, определяется как:

$$F_n^t = m \cdot a_t = m \cdot \varepsilon_0 \cdot L, \quad (3)$$

где a_t – касательное ускорение системы.

После подстановки выражений (1) и (3) в (2) и преобразования угловое ускорение системы равно:

$$\varepsilon_0 = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot L}{I_C + m \cdot L^2}. \quad (4)$$

Поскольку массой стержня маятника пренебрегаем, за момент инерции системы относительно оси C принимается момент инерции цилиндра относительно оси C . По теореме Штейнера о моментах инерции относительно параллельных осей момент инерции цилиндра относительно оси C равен:

$$I_C = \frac{m \cdot R_1^2}{2} + m \cdot L^2. \quad (5)$$

Подставляя выражение (5) в (4), получаем:

$$\varepsilon_0 = \frac{2g \cdot \sin \alpha \cdot L}{R_1^2 + 4L^2}. \quad (6)$$

2. В момент, когда начинается взаимодействие системы с расположенной на опорной поверхности зерновкой, цилиндр начинает поворачиваться в направлении, противоположном движению всей системы. Поскольку радиус траектории, по которой движется цилиндр, значительно больше радиуса самого цилиндра, можно принять его движение как плоское движение тела, которое одновременно совершает поступательное движение и вращательное вокруг оси, проходящей через центр масс тела.

В точке M контакта цилиндра с зерновкой (положение II-II, рис. 2 б) возникают следующие силы:

– между зерновкой и цилиндром – сила трения $F_{\tau 1}$, которая поворачивает цилиндр вокруг его оси;

– между зерновкой и опорной поверхностью – сила трения $F_{\tau 2}$;

– вместо силы сопротивления растяжению стержня маятника T – нормальная реакция поверхности как со стороны зерновки N_1 , так и со стороны опорной поверхности N_2 ;

Принимается условие, что зерновки расположены неподвижно на опорной поверхности, т.е. цилиндр движется по неподвижной зерновой поверхности.

Дифференциальные уравнения плоско-го движения цилиндра записываются в следующем виде:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x}_A = \sum F_{ix} = F - F_n^x - F_{\tau 1} \\ m \cdot \ddot{y}_A = \sum F_{iy} = N_1 - G \cos \alpha - F_n^y, \\ I_{Ax} \cdot \ddot{\phi}_1 = \sum M_A = F_{m1} \cdot R_1 \end{cases} \quad (7)$$

где \ddot{x}_A – вторая производная по времени перемещения системы по оси Ox , равная тангенциальной составляющей ускорения системы;

\ddot{y}_A – вторая производная по времени перемещения системы по оси Oy , равная нормальной составляющей ускорения системы, $\ddot{y}_A = 0$;

$\ddot{\phi}_1$ – вторая производная по времени от угла поворота цилиндра, $\ddot{\phi}_1 = \varepsilon_1$,

где ε_1 – угловое ускорение цилиндра;

I_{Ax} – момент инерции цилиндра относительно оси A , проходящей через его центр масс;

F_{ix}, F_{iy} – сумма проекций сил, соответственно, на ось Ox и Oy , действующих на цилиндр;

$\sum M_A$ – сумма моментов всех сил, действующих на цилиндр, относительно его центра масс – точки A ;

R_1 – радиус цилиндра.

Вращение цилиндра вокруг своей оси одновременно с движением маятника происходит без проскальзывания. В этом случае центр масс цилиндра – точка A – одновременно движется как часть маятника и как часть цилиндра. Ускорение центра масс по оси Ox определяется как:

$$\ddot{x}_A = a_{\tau} = \varepsilon_0 \cdot L = \varepsilon_1 \cdot R_1. \quad (8)$$

После подстановки выражения (6) в (8) и преобразования угловое ускорение цилиндра равно:

$$\varepsilon_1 = \frac{2g \cdot \sin \alpha \cdot L^2}{R_1^3 + 4R_1 \cdot L^2}. \quad (9)$$

Таким образом, определение угловых ускорений маятника и цилиндра позволяет производить расчет сил, действующих на систему маятник-цилиндр по формулам (2) и (7). При угле отклонения маятника $\alpha = 10^\circ$, длине стержня маятника $L = 429$ мм и радиусе цилиндра $R_1 = 35$ мм угловое ускорение маятника $\varepsilon_0 = 1,98$ рад/с², цилиндра – $\varepsilon_1 = 24,26$ рад/с².

Условие захвата зерновки цилиндром. Разрушение зерновки произойдет в том случае, если она будет затянута в клиновидное пространство между цилиндром и опорной поверхностью. Как известно из теории вальцового станка, условие захвата зерновки вальцами определяется минимально допустимым диаметром вальцов, при котором угол захвата меньше угла трения частицы о поверхность вальца. Поскольку основной рабочий орган установки для плющения зерна – цилиндр, его минимально допустимый диаметр рассчитывался по приведенному в литературе алгоритму [3].

Положение зерновки на опорной поверхности определяется углом γ относительно положения равновесия маятника (рис. 3), положение маятника – углом α , взаимное расположение цилиндра и зерновки – углом β . Угол Θ – угол захвата зерновки цилиндром, напрямую в расчетах неиспользуемый, равен разности углов β и γ .

Зерновка испытывает давление со стороны цилиндра P_1 и оказывает такое же давление как на верхнюю, так и на нижнюю криволинейные поверхности. Таким образом, реакция опорной поверхности $P_2 = P_1 = P$. Если принять, что шероховатость обеих криволинейных поверхностей одинакова, то силы трения зерновки об обе криволинейные поверхности также будут равны $F_{\tau 1} = F_{\tau 2} = F_{\tau p}$. Уравнение равновесия сил по оси Ox запишется в следующем виде:

$$P \sin \gamma + P \sin(\beta - \gamma) = F_{\text{тр}} \cos \gamma + F_{\text{тр}} \cos(\beta - \gamma). \quad (10)$$

Зерновка будет затянута в клиновидное пространство между криволинейными поверхностями при условии, что

$$P \sin \gamma + P \sin(\beta - \gamma) < F_{\text{тр}} \cos \gamma + F_{\text{тр}} \cos(\beta - \gamma). \quad (11)$$

Сила трения выражается через силу P , таким образом,

$$P \sin \gamma + P \sin(\beta - \gamma) < f P \cos \gamma + f P \cos(\beta - \gamma), \quad (12)$$

где f – коэффициент трения зерновки о криволинейную поверхность, $f = \operatorname{tg} \varphi$, где φ – угол трения зерновки о криволинейную поверхность.

После преобразований получается

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} < \operatorname{tg} \varphi. \quad (13)$$

Таким образом, по условию захвата зерновки половина угла β должна быть меньше угла трения ее о криволинейную поверхность.

Для определения радиуса цилиндра расстояние от опорной поверхности до оси качания маятника обозначается СК:

$$CK = L \cos \alpha + R_1 \cos(\beta - \gamma) + b \cos\left(\frac{\beta}{2} - \gamma\right) + (CK - CK \cos \gamma). \quad (14)$$

После преобразований получается:

$$R_1 = \frac{CK \cos \gamma - L \cos \alpha - b \cos\left(\frac{\beta}{2} - \gamma\right)}{\cos(\beta - \gamma)} \quad (15)$$

$$R_{1\min} = \frac{CK \cos \gamma - L \cos \alpha - b \cos(\varphi - \gamma)}{\cos(2\varphi - \gamma)} \quad (16)$$

При длине маятника $L = 448$ мм, расстоянии $CK = 465$ мм, зазоре $b = 3,71$ мм, углах $\alpha = 6^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\varphi = 30,1^\circ$ минимально допустимый радиус цилиндра по условию захвата составляет $R_{1\min} = 23,8$ мм.

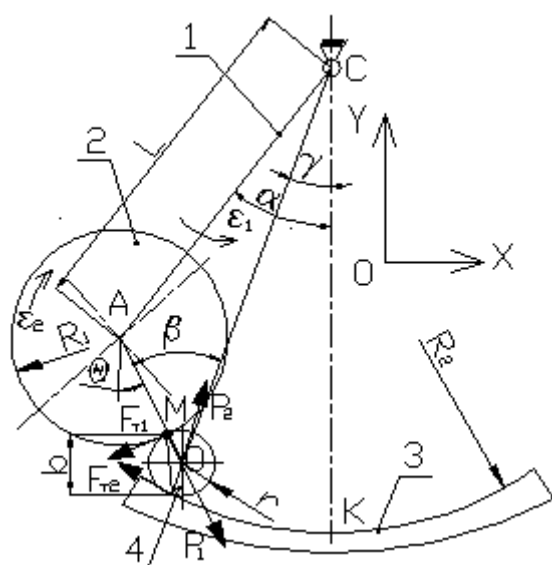


Рис. 3. Схема взаимодействия цилиндра с зерновкой:

1 – маятник; 2 – цилиндр;

3 – опорная поверхность; 4 – зерновка

Заключение

Способ плющения зерна при помощи устройства маятникового типа отличается от существующих тем, что работа разрушения (плющения) зерна осуществляется за счет запаса потенциальной энергии отклоненного из положения равновесия основного рабочего органа – маятника с цилиндром. Движущей силой основного рабочего органа является сила тяжести, которая также определяет и силу воздействия на разрушаемый материал. Данное устройство позволяет определять чистую энергию разрушения зерна, используя законы изменения полной энергии физического маятника и при подключении к нему специальной аппаратуры, регистрирующей колебания.

Библиографический список

1. Демский А.Б. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов: справочник / А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 760 с.
2. Демский А.Б. Комплексные зерноперерабатывающие установки малой мощности / А.Б. Демский. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 264 с.

3. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна: учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений /

А.Я. Соколов, В.Ф. Журавлев, В.Н. Душин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 445 с.



УДК 629.4.082.3:621.3.004.12

В.Б. Белый

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИХ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ключевые слова: системы сельского электроснабжения, технические средства, резонанс в электрических сетях, электромагнитная совместимость оборудования, устройства компенсации реактивной мощности.

Введение

Нормальное функционирование многих объектов (производственных, коммунальных, бытовых), а также безаварийная работа отдельных электроприемников обеспечивается рядом систем, в том числе системами электроснабжения, управления и связи. Для этих систем особую значимость имеет проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) как способность одних электротехнических средств нормально функционировать в условиях внутренних и внешних электромагнитных воздействий, не создавая при этом недопустимых помех другим электротехническим средствам. Одновременно с этим система электроснабжения (СЭС) должна обеспечивать потребителей электроэнергией, качество которой соответствует требованиям действующих нормативов [1].

Одним из основных показателей качества электрической энергии является качество напряжения в СЭС. На него влияют много факторов, среди которых такое мало изученное явление, применительно к системам сельского электроснабжения, как резонанс токов (т.н. параллельный резонанс). Это опасное явление возникает при наличии в СЭС нелинейных электропотребителей (как бытовых, так и производственных) и одновременном использовании установок компенсации реактивной

мощности, подключенных к шинам низкого напряжения трансформатора.

Причины возникновения резонанса. Чтобы говорить о явлении резонанса предметно, необходимо рассмотреть причины его возникновения. Сделаем это на примере резонансных явлений, связанных с работой силовых трансформаторов и установок компенсации реактивной мощности (УКРМ). В общем представлении это есть не что иное, как хорошо известный из теории электротехники [2] резонансный контур (рис. 1). В этой схеме имеется цепь с двумя параллельными ветвями: одна – с активным сопротивлением и индуктивностью, моделирующая силовой трансформатор, а другая – с емкостью, моделирующая устройство компенсации реактивной мощности.

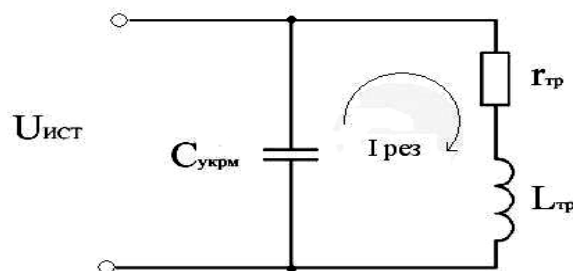


Рис. 1. Резонансный контур

В такой цепи резонанс наступает тогда, когда суммарное реактивное сопротивление $x_{\Sigma} = x_L - x_C = 0$, или $x_L = x_C$, т.е.

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

Из этого условия следует, что резонанс может возникнуть при изменении реак-