УДК 531

Об устойчивости движения клубня в зоне оптической дефектации

Пеленко В.В., Арет В.А., Верболоз Е.И., Мякишева А.А.
myakisheva.a@inbox.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.
Институт холода и биотехнологий

Проведена постановка и решение задачи устойчивости вращательного движения клубнекорнеплодов в зоне оптической дефектации их качества по коэффициенту поверхностного отражения.

Ключевые слова: клубень, вращение, дифференциальное уравнение, устойчивость, динамические характеристики.

При автоматизированном проведении процесса дефектации плодоовощной продукции, в том числе клубней картофеля, по поверхностному отражению [5] возникает задача оптимизации кинематических, конструктивно-технологических и динамических параметров элементов соответствующего оборудования и в частности узла оптической дефектации с целью гарантированного обеспечения проворачивания клубня в зоне осмотра.

Система дифференциальных уравнений поступательного движения клубня и его вращения относительно центра масс может быть записана в виде [1]:

$$m\frac{\partial^2 X}{\partial \tau^2}+\left[\frac{C_pC_k}{\left(C_p+C_k\right)}\right]X+f\left[\frac{C_pC_k}{\left(C_p+C_k\right)}\right]Y=$$

$$=mg\cos a$$

$$m\frac{\partial^2 Y}{\partial \tau^2}+\left[\frac{C_pC_k}{\left(C_p+C_k\right)}\right]Y+f\left[\frac{C_pC_k}{\left(C_p+C_k\right)}\right]X=$$

$$=mg\sin a$$

$$\frac{2}{5} m R_k^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \tau^2} + \left[\frac{C_p C_k}{(C_p + C_k)}\right] X \cdot$$

$$\cdot \sqrt{2R_k \left[\frac{C_p}{(C_p + C_k)}\right] X - \left[\frac{C_p}{(C_p + C_k)} X\right]^2} -$$

$$- f \frac{C_p C_k}{(C_p + C_k)} X \left(R_k - \frac{C_p}{(C_p + C_k)} X\right) = 0$$

Исходя из приведенных уравнений могут быть сформулированы две задачи оценки устойчивости движения.

1. Обеспечение устойчивости и гарантированного проворачивания клубня в зоне обзора оптической системы распознавания поверхностных повреждений.
2. Обеспечение отсутствия существенного подскакивания клубня (с выходом за поле фокусировки оптики).

Учитывая значительную величину гравитационных сил, их одинаковый порядок в проекциях на оси X и Y, а также достаточную глубину резкости оптической системы, актуальным представляется решение первой задачи.

Решение задачи стабилизации вращения продукта овальной формы при оптической дефектации состоит в получении нелинейного дифференциального уравнения второго порядка относительно угловой координаты φ [1,2]:

$$\frac{2}{5} m R_k^2 \ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + c\varphi = M_\varphi(\omega - \dot{\varphi}) \tag{1}$$

и в исследовании устойчивости его решения.

В результате разложения $M_\varphi M_\varphi$ в ряд по степеням относительно угловой

скорости $(\dot{\varphi})(\dot{\varphi})$, уравнение движения (1) после приведения к координате q

запишется в виде:

$$\frac{d^2 q}{d\tau^2} + \frac{k^2}{p^2} q = \mu \left[a \frac{dq}{d\tau} + \beta \left(\frac{dq}{d\tau} \right)^3 + \gamma \left(\frac{dq}{d\tau} \right)^5 \right] = \tag{2}$$

$$= F\left(q \cdot \frac{dq}{d\tau} \right)$$

$$q = \varphi - \frac{5M_{\varphi}(\dot{\varphi})}{2mR_k^2 k^2} = \varphi - \frac{M_{\varphi}(\dot{\varphi})}{C};$$

$$\mu = \frac{5b}{2mR_k^2 k^2};$$

$$\alpha = \frac{M_{\varphi}^{I}(\dot{\varphi})}{b} - 1; \beta = \frac{k^2}{6} \cdot \frac{M_{\varphi}^{II}(\dot{\varphi})}{b};$$

$$\gamma = \frac{k^4 M_{\varphi}^{V}(\dot{\varphi})}{b}.$$

Координаты положений равновесия являются корнями уравнений равновесия [3,4]:

$$\frac{d\rho}{d\tau} = \mu \Phi(\rho); \Phi(\rho) = 0;$$

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = \mu \Psi(\rho); \Psi(\rho) = 0.$$

Для рассматриваемого случая:

$$F\left(q\cdot\frac{dq}{d\tau}\right)=a\frac{dq}{d\tau}+\beta\left(\frac{dq}{d\tau}\right)^3+\gamma\left(\frac{dq}{d\tau}\right)^5$$

и тогда

(3)

$$\Phi(\rho)=\frac{1}{2}\rho(a+\frac{3}{4}\beta\rho^2+\frac{5}{8}\gamma\rho^4)=0;$$

(4)

$$\Psi(\rho)=0$$

Корень $\rho=0$ $\rho=0$ соответствует состоянию равновесия исходной динамической системы. Причем оно будет устойчивым, если $\alpha<0$ $\alpha<0$.

При $\alpha>0;(\beta<0;\ \gamma<0)$ $\alpha>0;(\beta<0;\ \gamma<0)$ устойчивое состояние равновесия соответствует верхней ветви параболы:

(5)

$$\rho^2=-\frac{3}{5}\frac{\beta}{\gamma}\pm\sqrt{\frac{9}{25}\cdot\frac{\beta^2}{\gamma^2}-\frac{8}{5}\cdot\frac{\alpha}{\gamma}}.$$

$\rho^2=-\frac{3}{2}*\frac{\beta}{\gamma}\pm\sqrt{\frac{9}{25}*\frac{\beta^2}{\gamma^2}-\frac{8}{5}*\frac{\alpha}{\gamma}}$ При $\beta>0;\ \gamma<0$ $\beta>0;\ \gamma<0$ и $\alpha<\frac{9}{40}*\frac{\beta^2}{\gamma}$ $\alpha<\frac{9}{40}*\frac{\beta^2}{\gamma}$ система совершает затухающие колебания.

При устойчивое состояние равновесия соответствует верхней ветви параболы (5).

Таким образом, для конкретных динамических характеристик исследуемой физической системы $\alpha, \beta, \gamma, \alpha, \beta, \gamma,$ могут быть (условия 3, 4, 5) определены границы устойчивости и конкретные значения кинематических и конструктивно-технологических параметров элементов оборудования для оптической дефектации клубней по поверхностным повреждениям.

ρ, ϑ

Обозначения: m - масса клубня; Х и У оси координат, проодящие через центры вращения клубня и роликов; τ - время; $\omega\ \omega$ - угловая скорость вращения ролика; ω_k - угловая скорость вращения клубня; 2а – угол между осями Х и У ; f – коэффициент трения скольжения; C_k, C_p - жесткостные характеристики клубня и ролика; $R_к$, $R_р$ - радиус клубня и ролика; b - коэффициент вязкого трения; с –приведенный коэффициент жесткости: M_φ - момент сил трения; q - обобщенная координата; φ - угол поворота клубня; α, β, γ - коэффициенты разложения; b – коэффициент вязкого рения; g- ускорение свободного падения; $M_\varphi\ M_\varphi$ - момент трения, возникающий между приводным вращающимся роликом и объектом; к – корень характеристического уравнения ; μ - малый параметр, характеризующий близость системы к консервативной линейной; - полярные координаты.

Список литературы:

1. Бутенин Н.В., Фуфаев Н.А. Введение в аналитическую механику. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. - 256 с.
2. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. - 256 с.
3. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И.,Фуфаев Н.А. Введение в теорию

нелинейных колебаний. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.,1987. - 384 с.
4. Раус Э. Динамика системы твердых тел: Пер.с англ. В 2-х томах. Т. 2/Под ред. Ю.А.Архангельского и В.Г.Демина. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. - 544 с.
5. Герасимов А.В., Любавский Ю.В., Семилетенко Б.Г., Старовойтов В.И. Научные и технические аспекты создания системы дефектации плодоовощной продукции по отражению при закладке на хранение и товарной обработке./Проблемы хранения и переработки плодоовощной продукции: Информационные материалы. Л.: 1988. – 37 с.

On the stability of motion of the potatoes in the area of optical flaw detection

Pelenko V.V., Aret V. A.,Verboloz E.I., Myakisheva A.A.
myakisheva.a@inbox.ru
Saint-Petersburg national research niversity of information technologies, mechanics and optics
Institute of refrigeration and biotechnologies

Made the statement and solution of the stability problem of the rotational motion of potatoes in the area of optical flaw detection of their quality by the ratio of the surface reflection.
Key words: tuber, rotation, differential equation, stability, dynamic characteristics.