

УДК 631.362.333:635.21

В. Н. ДАШКОВ¹, Ю. С. БИЗА¹, А. А. БРЕНЧ¹, Г. И. БЕЛОХВОСТОВ¹,
А. Л. РАПИНЧУК², А. С. ВОРОБЕЙ²

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КЛУБНЯ КАРТОФЕЛЯ ПО ЩЕТОЧНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

¹ Белорусский государственный аграрный технический университет,

² НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства

(Поступила в редакцию 24.09.2009)

Введение. Беларусь входит в число стран с почвенно-климатическими условиями, оптимальными для развития картофелеводства. По валовому сбору картофеля Республика Беларусь занимает восьмое место в мире, по производству в расчете на одного человека – первое.

На сегодняшний день проблема состоит не только в том, как произвести картофель, но и в том, как его реализовать с максимальной выгодой для производителя. Рыночные отношения предъявляют повышенные требования к качеству продаваемого картофеля, его товарному виду, упаковке. Отсортированный картофель с чистой кожурой без следов повреждений, уложенный в современные упаковочные материалы, покупается по высокой цене, принося дополнительный доход производителю.

В комплексе предреализационной подготовки наиболее целесообразно выполнение операции по сухой очистке картофеля, в результате которой картофель лучше хранится и имеет более низкую повреждаемость клубней.

Решение данной проблемы содержит в себе источник большой экономии в сельском хозяйстве страны и может быть обеспечено за счет совершенствования существующих машин или создания новых. В связи с этим имеет место необходимость разработки нового эффективного устройства, лишённого вышеперечисленных недостатков и имеющего более широкие технологические возможности, особенно в отношении картофеля. Поэтому в последнее время ученые обращаются к сухой очистке корнеплодов, в том числе и картофеля.

Цель данной работы – рассмотрение устройства машины для сухой очистки картофеля, обеспечивающей повышение эффективности очистки его от загрязнений. Данная машина может быть использована для технического оснащения предприятий АПК в рамках проводящегося на них технического перевооружения.

Математическая модель движения клубня картофеля по щеточной рабочей поверхности под действием статической нагрузки. При попадании клубней картофеля на щеточную поверхность валков могут произойти защемление клубней между валками и повреждение их в рабочих просветах. Условие, при котором защемления клубней между валками не происходит, можно записать, спроектировав все силы на нормаль к рабочей поверхности, следующим образом (рис. 1):

$$G \cos \theta + F \cos \beta + N_3 \leq N_1 \sin \beta + N_2 \sin \beta + F_2 \cos \beta, \quad (1)$$

где θ – угол наклона рабочей поверхности к горизонту, град; β – угол провисания картофельного клубня, град; G – сила тяжести клубня картофеля, Н; N_1, N_2 – нормальные реакции давления клубня на валки 1 и 2, Н; N_3 – сила давления полотна (статическая нагрузка), Н; F_1, F_2 – силы трения, действующие на клубень, Н;

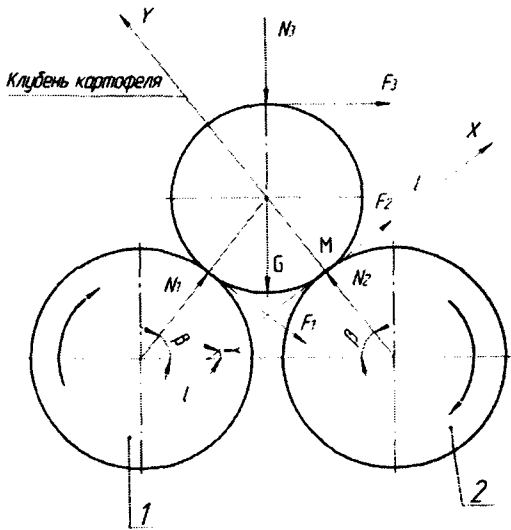


Рис. 1. Схема размещения клубней на поверхности рабочих валков: 1 – первый валок; 2 – второй валок; $l-l$ – плоскость; M – точка касания клубня; F_1, F_2, F_3 – силы трения, действующие на клубень; φ – угол поворота клубней картофеля; G – сила тяжести; N_1, N_2 – нормальные реакции от давления клубня на валки 1 и 2; N_3 – статическая нагрузка (давление полотна); β – угол провисания клубня; γ – угол наклона плоскости $l-l$ к горизонту

системы координат, движущейся поступательно вместе с касательной плоскостью к валку в точке провисания клубня. Поэтому очевидно, что сила Кориолиса и тангенциальная составляющая переносной силы инерции будут равны нулю (валки вращаются равномерно). Отлична от нуля будет только нормальная ее составляющая, равная

$$\overline{F_n^u} = -m\overline{a_n}$$

или по величине

$$\overline{F_n^u} = -m\omega^2 R. \quad (3)$$

Тогда, направляя ось x по плоскости $l-l$ вверх, дифференциальные уравнения плоскопараллельного движения клубней картофеля относительно этой плоскости с учетом наклона рабочей поверхности под углом θ к горизонту можно записать в виде [1]

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 x_c}{dt^2} = F_2 - mg \sin(\gamma - \theta) + F_3 \cos \gamma - N_3 \sin \gamma, \\ m \frac{d^2 y_c}{dt^2} = -mg \cos(\gamma - \theta) - N_3 \cos \gamma - F_3 \sin \gamma + m\omega^2 R, \\ J_{cz} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -F_2 r + F_3 r, \end{array} \right. \quad (4)$$

где x_c, y_c – координаты центра масс клубня картофеля; r – радиус клубня картофеля; J_{cz} – момент инерции клубня.

Угловая скорость клубня картофеля

$$\omega_k = \frac{\varphi_c}{r}.$$

После дифференцирования получаем соотношение между ускорениями

Поскольку проекция силы трения F_3 клубня о полотно на указанную нормаль равна нулю, то в условии, при котором не происходит защемления клубня, она не учитывается.

Для определения условия выхода клубня картофеля из просвета между валками заменяем действие валка 2 (рис. 1) действием движущейся наклонной плоскости. Для этого проводим плоскость $l-l$, касательную к валку 2 в точке M касания клубня с валком 2, которая является движущей наклонной плоскостью. Скорость движения плоскости равна окружной скорости валка

$$\vartheta_n = \omega R_b = \frac{\pi R_b n_b}{30}, \quad (2)$$

где R_b – радиус шеточного валка, м; n_b – частота вращения валка, мин^{-1} .

Для составления уравнения движения клубня картофеля относительно движущейся наклонной плоскости применяем метод инверсии, т. е. сообщаем системе плоскость – клубень скорость ϑ_n . Тогда плоскость окажется неподвижной, а клубень будет двигаться по наклонной плоскости вниз со скоростью $\vartheta_k = -\vartheta_n$.

Следовательно, необходимо рассмотреть движение клубней картофеля относительно подвижной

$$\varepsilon_k = \frac{a_c^r}{r} = \frac{a_{cx}}{r} \text{ или } \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{r} \frac{d^2x_c}{dt^2}.$$

С учетом этого уравнение (3) принимает вид

$$\frac{J_{cz}}{r} \frac{d^2x_c}{dt^2} = F_3 r - F_2 r.$$

После освобождения от неизвестной силы трения F_3 получаем

$$\frac{mr^2 - J_{cz} \cos\gamma}{r} \frac{d^2x_c}{dt^2} = F_2 r - mgr \sin(\gamma - \theta) - N_3 \sin\gamma + F_2 r \cos\gamma. \quad (5)$$

Так как выражение при производной слева положительно ($J_{cz} \sim 0,4 mr^2$) для шарообразной формы клубня или даже если

$$J_{cz} = m \left(\frac{a^2}{5} + \frac{b^2}{5} \right)$$

для сфероидальной формы клубня картофеля, то

$$\frac{d^2\vartheta_{cx}}{dt^2} \sim F_2 r (1 + \cos\gamma) - mgr \sin(\gamma - \theta) - N_3 \sin\gamma \quad (6)$$

или, переходя к углу провисания β , последнее уравнение примет вид

$$\frac{d^2\vartheta_{cx}}{dt^2} \sim F_2 r (1 + \sin\beta) - mgr \cos(\beta + \theta) - N_3 \cos\beta. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показывает, что если

$$F_2 r (1 + \sin\beta) < mgr \cos(\beta + \theta) + N_3 \cos\beta,$$

то скорость движения клубня картофеля будет больше скорости движения плоскости v_n . Клубень картофеля перемещается вниз по наклонной плоскости и перебрасывается через валок 2.

Если

$$F_2 r (1 + \sin\beta) = mgr \cos(\beta + \theta) + N_3 \cos\beta,$$

то уравнение клубня картофеля будет $\frac{d\vartheta_k}{dt} = 0$, следовательно, клубень картофеля будет занимать неустойчивое положение, и переход через валок 2 будет определяться случайными условиями взаимодействия, например, увеличением значения коэффициента трения f при налипании почвы на пружинный ротор или клубень картофеля.

Если

$$F_2 r (1 + \sin\beta) > mgr \cos(\beta + \theta) + N_3 \cos\beta,$$

то абсолютного перемещения картофельного клубня по наклонной плоскости вниз не происходит. Плоскость вынесет клубень картофеля вверх, т. е. движение будет происходить в положительном направлении оси x (рис. 1).

Следовательно, условием перебрасывания клубня картофеля через валок 2 будет

$$F_2 r (1 + \sin\beta) < mgr \cos(\beta + \theta) + N_3 \cos\beta.$$

Частота вращения щеточных валков n_b может быть определена из условия движения одиночного клубня картофеля без отрыва от щеточной поверхности (рис. 2), т. е. в предельном случае

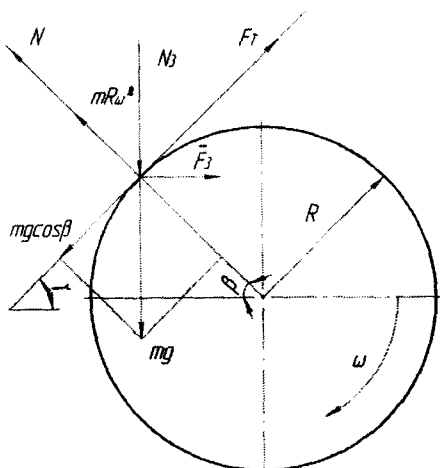


Рис. 2. Схема сил, действующих на щеточный механизм: mg – сила тяжести клубня картофеля; $mg \cos \beta$ – проекция силы тяжести клубня картофеля; N – нормальная реакция от давления клубня на щеточный валок; N_3 – сила давления полотна; F_T – сила трения, действующая на клубень; β – угол провисания картофельного клубня; R – радиус щеточного валка; ω – угловая скорость вращения щеточного валка

Угловая скорость валков ω :

$$\omega = \sqrt{\frac{mg \sin(\beta + \theta) + N_3 \sin \beta + F_3 \cos \beta - \frac{F_T}{\operatorname{tg} \varphi_0} - m\omega^2 R}{mR_b}} \quad (13)$$

Таким образом, были определены условия перебрасывания клубня картофеля через щеточный валок с учетом статической нагрузки (давления полотна) и частота вращения валков из условия движения одиночного клубня картофеля без отрыва от щеточной поверхности.

Заключение. Анализ научно-технической литературы показывает, что наиболее перспективным способом очистки картофеля является механическая очистка с использованием щеточных рабочих органов под действием статической нагрузки. Расчеты показывают, что для лучшей работы машины по сухой очистке картофеля необходимо действие силы нормального давления на клубень картофеля. Приведена и описана математическая модель движения клубня по щеточной рабочей поверхности под действием статической нагрузки.

Литература

1. Колчин Н. Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей. М., 1982.
2. Иванов В. Г. и др. Настольная книга картофелевода: Под ред. С. А. Турко. Мн., 2007.
3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: Учебник для вузов. М., 2008.

V. N. DASHKOV, Y. S. BISA, A. A. BRENCH, G. I. BELOHVESTOV, A. L. RAPINCHUK, A. S. VOROBEY

MATHEMATICAL MODEL OF MOVEMENT OF A POTATO TUBER ON A WORKING BRUSH SURFACE UNDER STATIC LOAD

Summary

It is revealed, that the most perspective way of clearing of commodity potato is mechanical clearing with use of brush tool under the of static loading.

Calculations show, that for the best work of the machine of dry clearing of potato, action of normal down pressure on a potato tuber is necessary. The scheme of mathematical model of movement of a tuber under the influence of static loading on working brush surface is presented and described.

с учетом наклона рабочей поверхности к горизонту на угол θ

$$F_T = mg \cos(\beta + \theta). \quad (8)$$

Так как клубень картофеля движется без отрыва от щеточной поверхности, то скорость и ускорение клубня вдоль оси Y равны нулю $\left(\frac{d^2 y_c}{dt^2}\right)$. Из второго дифференциального уравнения системы (4) определяем полную нормальную реакцию давления клубня на щеточный валок

$$N = mg \cos(\gamma - \theta) + N_3 \cos \gamma + F_3 \sin \gamma + m\omega^2 R. \quad (9)$$

Так как угол $\gamma = 90 - \beta$, то, переходя в (9) к углу провисания β , имеем

$$N = mg \sin(\beta + \theta) + N_3 \sin \beta + F_3 \cos \beta - m\omega^2 R. \quad (10)$$

Тогда сила трения $F_T = F_2$ имеет вид:

$$F_T = f(mg \sin(\beta + \theta) + N_3 \sin \beta + F_3 \cos \beta - m\omega^2 R), \quad (11)$$

где F_T – сила трения, действующая на клубень картофеля; N ; $f = \operatorname{tg} \varphi_0$ – коэффициент трения между клубнем картофеля и щеточным валком; φ_0 – угол трения.

Угол провисания картофеля между валками β (рис. 1):

$$\beta = 180^\circ - 90^\circ - \varphi. \quad (12)$$