

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАШИНЫ ДЛЯ СУХОЙ ОЧИСТКИ КАРТОФЕЛЯ

В.Н. Дашков, докт. техн. наук, профессор, Ю.С. Биза, канд. физ.-мат. наук, доцент, В. А. Агейчик, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ); А.Л. Рапинчук, канд. техн. наук, А.С. Воробей, аспирант (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)

### Аннотация

*В статье описан технологический процесс машины для сухой очистки картофеля и выполнен расчёт математической модели движения клубня картофеля по щёточной рабочей поверхности под действием статической нагрузки.*

### Введение

Беларусь входит в число стран с оптимальными почвенно-климатическими условиями для развития картофелеводства. По валовому сбору картофеля Республика Беларусь находится в числе десяти ведущих стран в мире. На сегодняшний день проблема состоит не только в том, как произвести картофель, но и как его реализовать с максимальной выгодой для производителя. Рыночные отношения предъявляют повышенные требования к качеству продаваемого картофеля, его товарному виду, упаковке. В связи с этим маркетологи утвердили ряд условий, соблюдение которых требует торговая сеть. К ним относятся: размер, форма, масса, товарный вид картофеля [1].

Важным этапом комплекса предреализационной подготовки картофеля является его очистка. Из наиболее распространенных двух способов очистки картофеля (сухого и мокрого) в настоящее время наиболее перспективным является сухой. Очищенный сухим способом картофель меньше травмируется, лучше хранится и обеспечивается существенное снижение энергозатрат на его очистку [2].

В Республике Беларусь машины для сухой очистки картофеля не производятся. Применяются в основном машины импортного производства, таких фирм как «Bijlsma – Hercules» (Голландия), «Euro-Jabelmann» (Германия) и др.

В РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана машина с внедрением нового типа рабочего органа (щёточного аппарата), который по своей технической характеристике при сухой очистке картофеля не уступает лучшим зарубежным аналогам.

В данной работе выявлено влияние действий имеющихся рабочих

органов на поверхность кожуры картофеля. На базе разработанных предложений, подтверждённых результатами экспериментальных исследований, получены результаты, позволяющие создать более производительную, низкоэнергоёмкую, малогабаритную и простую по своей конструкции машину для сухой очистки картофеля [3].

### Основная часть

#### Конструкция машины для сухой очистки картофеля

Машина для сухой очистки картофеля и других корнеплодов мобильная и легко может быть доставлена в любой пункт переработки картофеля.

Она состоит из следующих узлов и механизмов (рис. 1): опорных стоек – 1; колёс – 2; загрузочного бункера – 3; прорезиненного полотна – 4; электродвигателя – 5; рамы – 6; вальцов – 7; приводных звёздочек – 8; пульта управления – 9.

Опорные стойки выполнены телескопическими, что позволяет оператору изменять угол наклона рабо-

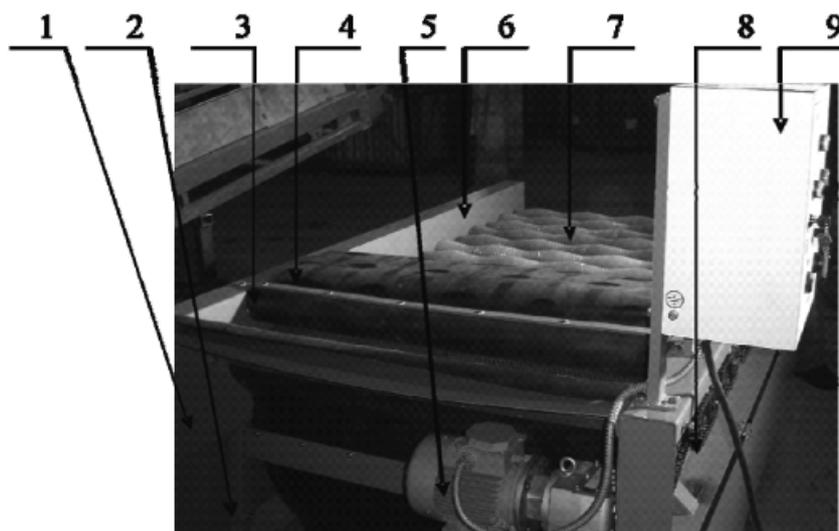


Рисунок 1. Общий вид машины для сухой очистки картофеля

чей поверхности машины.

Колеса крепятся к стойкам, и при помощи них машина получает мобильность.

Загрузочный бункер – один из основных элементов машины, состоящий из емкости и гасителей скорости падения клубней.

Прорезиненное полотно шириной – 1100 мм, длиной – 2090 мм, во время технологического процесса задерживает примеси.

Электродвигатель снабжен редуктором с частотой вращения выходного вала 180 мин<sup>-1</sup>.

Рама представляет собой сварную конструкцию из профилей, на которой имеются элементы строповки, опорные стойки и загрузочный бункер.

Приводные звёздочки осуществляют движение рабочего органа машины при помощи цепей, установленных на валу, передавая движение вальцам с капроновым щеточным покрытием.

Пульт управления состоит из корпуса, внутри которого расположен импульсный частотник, а на поверхности расположены кнопки управления, посредством которых изменяется частота вращения валцов.

#### **Технологический процесс сухой очистки картофеля**

Машина для сухой очистки картофеля устанавливается на ровную площадку. После этого её подключают к трехфазной сети переменного тока.

При помощи опорных стоек задается угол наклона рабочей поверхности машины. От пульта управления 9 устанавливается частота вращения валцов с капроновым щеточным покрытием 7.

Картофель подаётся в загрузочный бункер 3. От электродвигателя 5 через звёздочки 8, соединённые при помощи цепей, приводятся в движение валцы 7. Картофель из загрузочного бункера 3 начинает движение по вальцам. Прорезиненное полотно 4, накрывающее картофель, обеспечивает надежное касание клубней картофеля и щеточного ворса. Это обеспечивает плавную и бесперебойную работу машины.

Более тяжёлые примеси под действием сил тяжести и трения со стороны валцов со щеточным покрытием 7 падают вниз. Пройдя всю рабочую поверхность, очищенный картофель затаривается в сетки и предлагается на реализацию.

#### **Математическая модель движения клубня картофеля по щеточной рабочей поверхности под действием статической нагрузки**

Клубни картофеля на поверхности валцов могут защемляться между валцами и повреждаться в рабочих просветах. Условие, при котором защемление клубня картофеля между валцами не происходит, можно сформулировать, спроектировав все силы на нормаль к рабочей поверхности, в виде выражения (1), т.е. сумма положительных значений проекции сил на нормаль

должна быть больше или равна сумме проекций сил с отрицательными значениями (рис. 2):

$$G \cos \theta + F_1 \cos \beta + N_3 \leq N_1 \sin \beta + N_2 \sin \beta + F_2 \cos \beta, \quad (1)$$

где  $\theta$  – угол наклона рабочей поверхности к горизонту, град.;

$\beta$  – угол провисания клубня картофеля, град.;

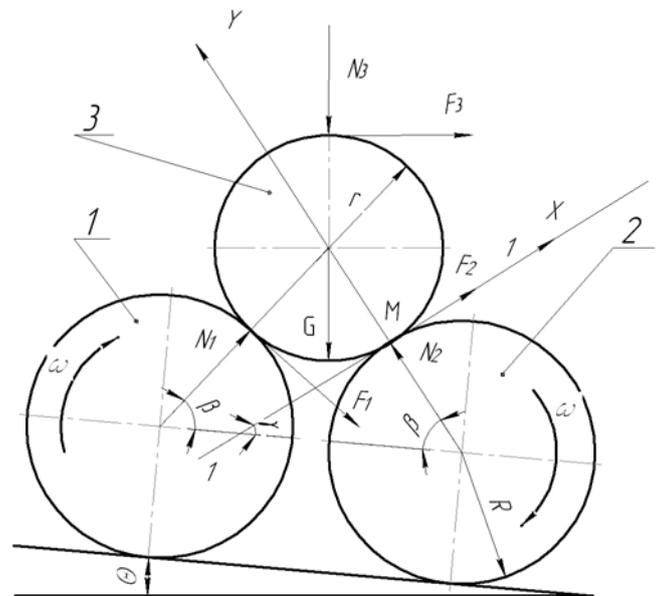
$G$  – сила тяжести клубня картофеля, Н;

$N_1, N_2$  – нормальные реакции давления клубня на валцы 1 и 2, Н;

$N_3$  – сила давления полотна (статическая нагрузка), Н;

$F_1, F_2$  – силы трения, действующие на клубень, Н.

Для определения условия выхода клубня картофеля из просвета между валцами заменяем действие вальца 2 (рис 2.) действием движущейся наклонной плоскости. Для этого проводим плоскость I-I, касательную к вальцу 2 в точке М касания клубня с вальцом 2, которая является движущей наклонной плоскостью. Скорость движения плоскости равна окруж-



*Рисунок 2. Схема размещения клубня картофеля на поверхности рабочих валцов: 1-2 – валцы рабочей поверхности; 3 – клубень картофеля; I-I – плоскость касательная к вальцу 2; М – точка касания клубня с вальцом;  $F_1, F_2, F_3$  – силы трения, действующие на клубень;  $G$  – сила тяжести;  $N_1, N_2$  – нормальные реакции от давления клубня на валцы 1 и 2;  $N_3$  – статическая нагрузка (давление полотна);  $\beta$  – угол провисания клубня картофеля;  $\gamma$  – угол наклона плоскости I-I к горизонту;  $\theta$  – угол наклона рабочей поверхности к горизонту;  $r$  – радиус клубня картофеля;  $R$  – радиус вальца*

ной скорости вальца

$$v = \omega R = \frac{\pi R n}{30}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус вальца, м;

$n$  – частота вращения вальца,  $\text{мин}^{-1}$ .

Таким образом, надо рассмотреть движение клубня картофеля относительно подвижной системы координат, движущейся поступательно вместе с касательной плоскостью к вальцу в точке провисания клубня. Поэтому очевидно, что сила Кориолиса и тангенциальная составляющая переносной силы инерции будут равны нулю (вальцы вращаются равномерно). Отлична от нуля будет только нормальная ее составляющая, равная

$$F_n'' = -m\omega^2 R, \quad (3)$$

Тогда, направляя ось  $x$  по плоскости 1-1 вверх, дифференциальные уравнения плоскопараллельного движения клубня картофеля относительно этой плоскости с учетом наклона рабочей поверхности под углом  $\theta$  к горизонту можно записать в виде [4]:

$$\left\{ \begin{aligned} m \frac{d^2 x_c}{dt^2} &= F_2 - mg \sin(\gamma - \theta) + F_3 \cos \gamma - N_3 \sin \gamma; \\ m \frac{d^2 y_c}{dt^2} &= -mg \cos(\gamma - \theta) - N_3 \cos \gamma - \\ &- F_3 \sin \gamma + m\omega^2 R + N_2; \\ J_{cz} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} &= -F_2 r + F_3 r, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

где  $x_c, y_c$  – координаты центра масс клубня картофеля;

$r$  – радиус клубня картофеля, м;

$J_{cz}$  – момент инерции клубня картофеля,  $\text{кг м}^2$ ;

$\varphi$  – угол поворота клубня картофеля, рад.

Угловое ускорение клубня картофеля определим по формуле

$$\varepsilon_k = \frac{a_c^r}{r} = \frac{a_{cx}}{r} \quad \text{или}$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{1}{r} \frac{d^2 x_c}{dt^2}.$$

С учетом этого уравнение (3) принимает вид

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

Освобождаясь в системе (4) от неизвестной силы трения  $F_3$ , получаем

$$\frac{mr^2 - J_{cz} \cos \gamma}{r} \frac{d^2 x_c}{dt^2} = F_2 r -$$

$$-mg r \sin(\gamma - \theta) - N_3 \sin \gamma + F_2 r \cos \gamma \quad (5)$$

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

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

для сфероидальной формы клубня картофеля, то

$$\frac{dv_{cx}}{dt} \sim F_2 r (1 + \cos \gamma) -$$

$$-mgr \sin(\gamma - \theta) - N_3 \sin \gamma, \quad (6)$$

или, переходя к углу провисания  $\beta$ , последнее уравнение примет вид

$$\frac{dv_{cx}}{dt} \sim F_2 r (1 + \sin \beta) -$$

$$-mgr \cos(\beta + \theta) - N_3 \cos \beta. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показывает, что если

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

то скорость клубня картофеля направлена вниз по наклонной плоскости и, следовательно, клубень картофеля не будет перебрасываться через валец 2.

Если

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

то уравнение движения клубня картофеля будет

$$\frac{dv_k}{dt} = 0, \quad \text{следовательно клубень картофеля будет}$$

занимать неустойчивое положение, и переход через валец 2 будет определяться случайными условиями взаимодействия, например, увеличением значения коэффициента трения  $f$ .

Если

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

то абсолютного перемещения картофельного клубня по наклонной плоскости вниз не будет. Плос-

кость вынесет клубень картофеля наверх, т.е. движение клубня будет происходить в положительном направлении оси  $x$  (рис. 2).

Следовательно, это уравнение и является условием перебрасывания клубня картофеля через валец 2.

Частота вращения валцов  $n$  может быть определена из условий движения одиночного клубня картофеля без отрыва от рабочей поверхности (рис. 3), т.е. в предельном случае

$$F_T = mg \cos \beta.$$

Или с учетом наклона рабочей поверхности к горизонту на угол  $\theta$

$$F_{TP} = mg \cos(\beta + \theta). \quad (8)$$

Так как клубень картофеля движется без отрыва от рабочей поверхности, то скорость и ускорение его вдоль оси  $Y$   $\left(\frac{d^2 Y_c}{dt^2} = 0\right)$ . Отсюда из второго дифференциального уравнения системы (4) определяем полную нормальную реакцию давления клубня картофеля на валец рабочей поверхности.

$$N_2 = mg \cos(\gamma - \theta) + N_3 \cos \gamma + F_3 \sin \gamma - m\omega^2 R. \quad (9)$$

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

$$N_2 = mg \sin(\beta + \theta) + N_3 \sin \beta + F_3 \cos \beta - m\omega^2 R. \quad (10)$$

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, Н;

$f = tg \varphi_o$  – коэффициент трения между клубнем картофеля и валцом;

$\varphi_o$  – угол трения.

Угол провисания клубня картофеля между вальцами  $\beta$  (рис. 3):

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

Из уравнения (11) с учетом равенства (8) угловая скорость  $\omega$  валцов определяется следующим образом:

$$\omega = \sqrt{\frac{mg \sin(\beta + \theta) + N_2 \sin \beta + F_3 \cos \beta - \frac{mg \cos(\beta + \theta)}{tg \varphi_o}}{mR}}, \quad (13)$$

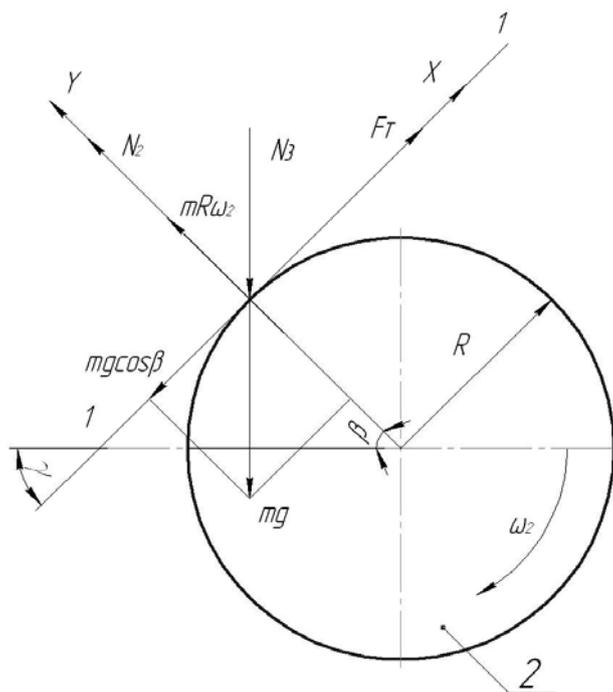


Рисунок 3. Схема сил, действующих на валец 2 рабочей поверхности:  $mg$  – сила тяжести клубня картофеля;  $mg \cos \beta$  – проекция силы тяжести клубня картофеля на ось  $X$ ;  $N_2$  – нормальная реакция от давления клубня на валец;  $N_3$  – сила давления полотна;  $F_T$  – сила трения, действующая на клубень картофеля;  $\beta$  – угол провисания клубня картофеля;  $R$  – радиус вальца; 1-1 – плоскость касательная к валцу 2;  $\omega$  – угловая скорость вращения вальца; 2 – валец рабочей поверхности.

где  $R$  – радиус вальца, м.

Принимая во внимание зависимость между частотой вращения и угловой скоростью, имеем

$$n = \frac{30\omega}{\pi}. \quad (14)$$

Таким образом, определены условия перебрасывания клубня картофеля через валец щеточной рабочей поверхности машины с учетом статической нагрузки (давления полотна) и частота вращения вальца из условия движения одиночного клубня картофеля без отрыва от щеточной рабочей поверхности машины.

Техническая характеристика машины для сухой очистки картофеля и других корнеплодов приведена в табл. 1.

**Выводы**

**Таблица 1. Техническая характеристика машины по сухой очистке**

Наименование показателя	Значение
1. Тип машины	стационарная
2. Производительность, т/ч	
основного	5
сменного	3,5
эксплуатационного	2
3. Удельный расход электроэнергии кВт • ч	0,3
4. Установленная мощность, кВт	1,5
5. Рабочая скорость движения клубней картофеля, м/с	0,1
6. Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	180
7. Масса машины, кг	450
8. Основные параметры машины	
количество вальцов	14
максимальный диаметр щетки, мм, не менее	136
минимальный диаметр щетки, мм, не менее	112
угол наклона рабочей поверхности машины, град.	0...10
9. Габаритные размеры машины, мм, не более	
длина	2090
ширина	1250
высота	2000
10. Сила давления прорезиненного полотна, Н	18-14

1. Анализ литературных источников показывает, что наиболее перспективным способом очистки картофеля является механическая очистка с использованием щеточных рабочих органов под действием статической нагрузки.

2. Расчеты показывают, что для лучшей работы машины для сухой очистки картофеля необходимо действие силы нормального давления сверху на клубень картофеля.

3. Машина для сухой очистки картофеля и других клубнеплодов проста, малоэнергоёмкая и удобна в эксплуатации, может найти применение в овощехранилищах, фермерских хозяйствах, на оптовых базах по переработке картофеля, предприятиях АПК в рамках реализации программы развития картофелеводства.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Технология производства продуктов растениеводства/ И.П.Фирсов [и др.] – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 432.

2. Таушканов, А. Сухая очистка корнеклубнеплодов/ А. Таушканов, А. Фоминых // Сельский механизатор, 2005. – № 9. – С. 28.

3. Дашков, В.Н. Экспериментальные исследования процесса сухой очистки картофеля/ В.Н. Дашков, А.Л. Рапинчук, А.С. Воробей и др. // Инженерный Вестник, 2008. – № 2. – С. 64-88.

4. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для ВТУзов/ С.М. Тарг. – 18-е изд. – М.: Высш. шк., 2008. – 416 с.: ил

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2010 года: для индивидуальных подписчиков - 27000 руб., ведомственная подписка - 52986 руб.