

УДК 631.356

UDC 631.356

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОЦЕССА ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПЕРВИЧНОЙ СЕПАРАЦИИ
В КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИНАХ
ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**THEORETICAL STUDIES OF THE PROCESS
OF INTENSIFICATION OF THE PRIMARY
SEPARATION IN POTATO MACHINES USING
A DYNAMIC METHOD**

Рембалович Георгий Константинович
к.т.н., доцент

Rembalovich Georgy Konstantinovich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., доцент

Kostenko Mikhail Yurievich
Dr.Sci.Tech., associate professor

Каширин Дмитрий Евгеньевич
д.т.н., доцент

Kashirin Dmitry Evgenievich
Dr.Sci.Tech., associate professor

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor

Голиков Алексей Анатольевич
аспирант
*Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Golikov Alexey Anatolevich
postgraduate student
*Ryazan State Agro-technological University Named
After P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Математическая модель, представленная в данной статье, позволяет выбирать рациональные значения и диапазоны конструктивно-технологических параметров органа сепарации, а также их дальнейшую оптимизацию

The mathematical model presented in this article allows you to choose rational values and ranges of design and technological parameters of body separation, as well as their further optimization.

Ключевые слова: КОНВЕЙЕР,
ИНТЕНСИФИКАТОР, КОМПОНЕНТ
КАРТОФЕЛЬНОГО ВОРОХА, УПРУГИЙ
РАБОЧИЙ ЭЛЕМЕНТ

Keywords: CONVEYORS, INTENSIFIERS,
COMPONENT POTATO HEAP, ELASTIC
WORKING ELEMENT

Повышение эффективности сепарации в картофелеуборочных машинах (в том числе первичной сепарации, осуществляемой, преимущественно, на прутковых конвейерах), является одной из актуальных задач в машинных технологиях производства картофеля [1]. Один из путей решения этой задачи – повышение равномерности распределения клубненосного вороха по ширине конвейера за счет поперечного смещения компонентов вороха из наиболее загруженных зон [2]. Предлагаемый для решения данной задачи новый сепарирующий рабочий орган содержит приводные интенсификаторы сепарации, расположенные над полотном пруткового конвейера и оснащенные эластичными рабочими элементами [3]. На процесс решения данной

задачи будет оказывать влияние целый ряд параметров интенсификатора и свойств среды, в частности, радиус закругления рабочих элементов, их жесткость (зависящая от модуля сдвига материала и от их диаметра), угол наклона конвейера, скорости взаимодействия, состав вороха и другие факторы [4, 5, 6, 7]. Поскольку схемно-конструктивное решение интенсификатора является новым [3], сегодня не существует моделей, описывающих процессы, протекающие при его использовании. Создание такой модели позволяет дать эффективный инструмент для решения важной народнохозяйственной и научной проблемы недостаточной эффективности сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин [8, 9, 10]. Использование этого инструмента позволит, в частности, решать прикладные задачи обоснования параметров нового интенсификатора при работе в различных условиях для повышения эффективности процесса сепарации.

Разработаем математическую модель процесса взаимодействия упругих рабочих элементов интенсификатора сепарации с компонентами картофельного вороха.

Будем считать, что при работе интенсификатора воздействие происходит в три фазы: 1) деформирование упругого элемента, 2) смещение компонентов картофельного вороха, 3) свободное движение компонентов по полотну конвейера.

При анализе первой фазы примем как допущение, что компонент находится в покое на полотне конвейера (движется вместе с ним равномерно) (рисунок 1), т.е. находится в состоянии равновесия.

Рассмотрим равновесие компонента:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{KX} = 0; P_K \sin \varphi + F_{TP} \cos \varphi - F_{comp} \cos (\varphi - \psi) = 0 \\ \sum F_{KY} = 0; P_K \cos \varphi - F_{TP} \sin \varphi - F_{comp} \sin (\varphi - \psi) = 0 \\ \sum F_{KZ} = 0; N - G \cos \beta = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Учтем, что $F_{comp} = N f_{ВНУТ}$, $F_{TP} = P_K f$, $G = mg$.

P_K – сила упругости (восстанавливающая сила) упругого элемента, Н;

$F_{ТР}$ – сила трения, Н;

$F_{сопр}$ – сила сопротивления компонента в картофельном ворохе, Н;

N – нормальная сила реакции пруткового полотна, Н;

G – вес компонента картофельного вороха, Н;

m – масса компонента картофельного вороха, кг;

β – угол наклона пруткового полотна, рад;

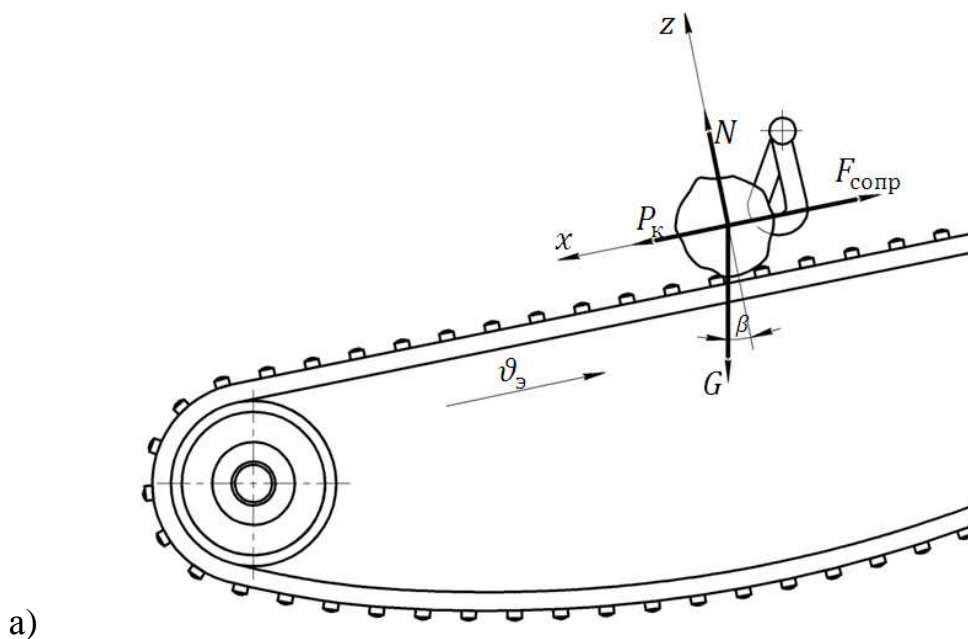
$f_{ВНУТ}$ – коэффициент внутреннего трения;

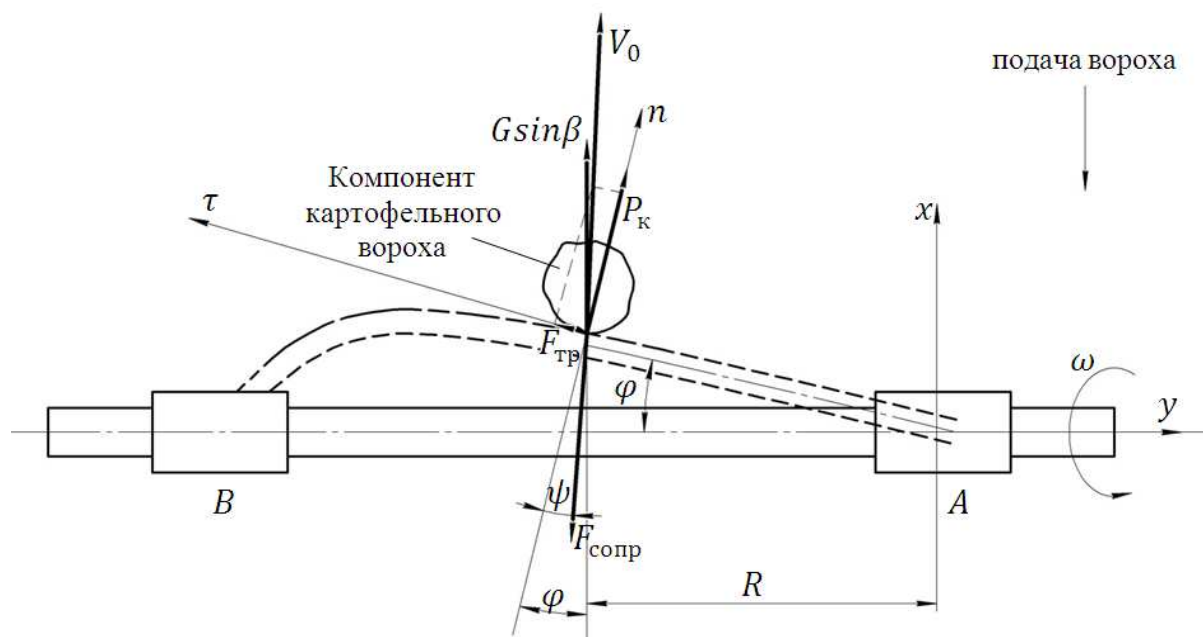
φ – угол закручивания упругого элемента, рад;

ψ – угол трения компонента картофельного вороха о резину.

Подставим в систему выражений (1) значения величин и выразим величину восстанавливающей силы:

$$P_K \sin \varphi + P_K f \cos \varphi = m g f_{ВНУТ} \cos \beta \cos(\varphi - \psi) \quad (2)$$





б)

Рисунок 1. Схема взаимодействия компонента картофельного вороха и рабочего элемента интенсификатора : а) вид сбоку; б) вид сверху

$$\text{Тогда } P_k = \frac{m \cdot g \cdot f_{\text{ВНУТ}} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)}{\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

С другой стороны (по аналогии с цилиндрическими пружинами), восстанавливающая сила упругого элемента (Н.М. Беляев, Сопротивление материалов, М.: Наука, 1976):

$$P_k = M_y^C R \quad (4)$$

где M_y^C – момент скручивания упругого элемента, Н-м;

R – радиус упругого элемента, м.

Момент скручивания упругого элемента в середине дуги (точка С) зависит от угла закручивания:

$$M_y^C = \frac{2 \cdot \varphi \cdot G_C \cdot J_P}{\pi \cdot R} \quad (5)$$

где G_C – модуль сдвига материала упругого элемента, Па;

J_P – полярный момент инерции сечения упругого элемента, м⁴;

$$J_P = \frac{\pi}{32} \cdot d^4,$$

где d – диаметр упругого элемента, м.

Тогда величина восстанавливающей силы упругого элемента с учетом выражений (4) и (5) будет определяться:

$$P_K = \frac{2 \cdot \varphi \cdot G_C \cdot J_P}{\pi} \quad (6)$$

Приравняв выражения (3) и (6), получим математическую модель, описывающую взаимосвязь параметров картофельного вороха с параметрами упругого элемента в первой фазе взаимодействия:

$$\frac{m \cdot g \cdot f_{\text{ВНУТ}} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)}{\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi} = \frac{2 \cdot \varphi \cdot G_C \cdot J_P}{\pi} \quad (7)$$

Данное выражение описывает взаимосвязь упругих характеристик (модуля сдвига, угла закручивания) выбранного материала для изготовления элемента и массовых характеристик компонента вороха с диаметром упругого элемента. Пользуясь этой зависимостью, можно для упругих элементов, изготовленных из различных материалов, подбирать рациональные конструктивные параметры, в частности, диаметр.

Выразим отсюда модуль сдвига материала упругого элемента:

$$G_C = \frac{16 \cdot m \cdot g \cdot f_{\text{ВНУТ}} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)}{d^4 \cdot \varphi \cdot (\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)} \quad (8)$$

Отсюда можно найти выражение для определения диаметра упругого элемента:

$$d = \sqrt[4]{\frac{16 \cdot m \cdot g \cdot f_{\text{ВНУТ}} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)}{G_C \cdot \varphi \cdot (\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)}} \quad (9)$$

На основании выражения (8) с помощью пакета прикладных программ «MathCAD-14» был построен график зависимости $\varphi = f(G_C)$, представленный на рисунке 2.

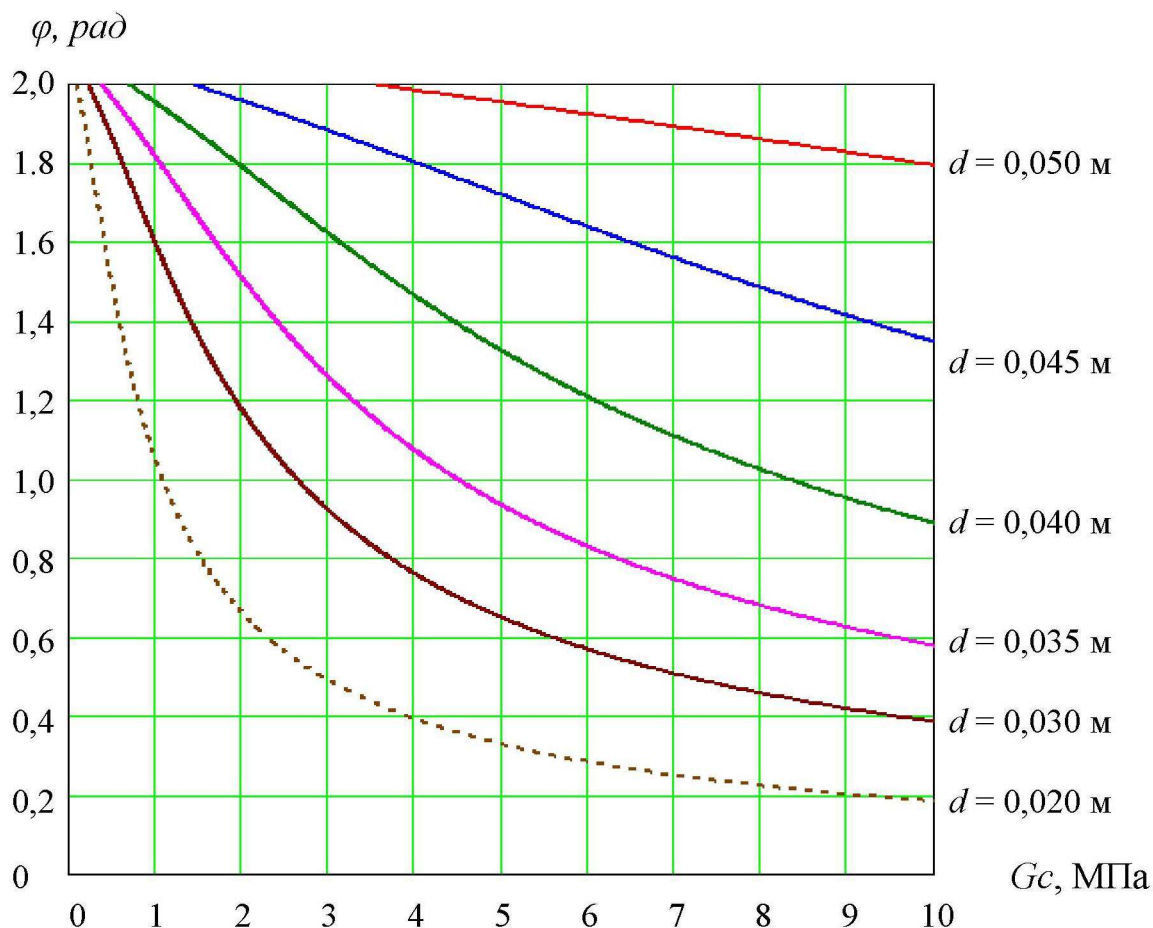


Рисунок 2. Графическая интерпретация зависимости угла закручивания φ упругого элемента от свойств его материала (модуля сдвига G_c) при различных значениях диаметра d упругого элемента

Анализ зависимости угла закручивания упругого рабочего элемента от модуля сдвига показывает, что угол закручивания существенно изменяется при изменении модуля сдвига и диаметра рабочего элемента, произведение которых характеризует жесткость упругого элемента (рисунок 2):

$$k_{YE} = J_P \cdot G_c = \frac{\pi}{32} \cdot d^4 \cdot G_c \quad (10)$$

Увеличение диаметра упругого элемента (его полярного момента инерции) позволяет использовать материал с меньшим модулем сдвига.

При диаметре упругого элемента до 30 мм наблюдается резкое изменение формы кривой (рисунок 2), что наглядно характеризует

изменение жесткости материала при углах закручивания более 0,8 рад. Следовательно, для обеспечения стабильной работы упругого элемента рекомендуемый угол закручивания должен находиться в диапазоне 0,5...0,8 рад.

Во второй фазе взаимодействия компонента картофельного вороха с упругим элементом силы упругости преодолевают силы сопротивления вороха. Для определения скорости компонентов картофельного вороха воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии. Запишем основное уравнение:

$$T_1 - T_2 = \sum A \quad (11)$$

где T_2 – кинетическая энергия в момент начала движения компонента ($T_2 = 0$, т.к. скорость компонента в этот момент равна 0), Дж;

T_1 – кинетическая энергия в момент отрыва компонента картофельного вороха от упругого элемента, Дж;

$\sum A$ – работа внешних сил (силы сопротивления и силы тяжести), Дж.

Кинетическая энергия T_1 :

$$T_1 = \frac{m \cdot V_0^2}{2} .$$

(12)

Примем как допущение, что при движении компонента не наблюдается качения, что обусловлено наличием других компонентов (подача вороха на орган первичной сепарации составляет до 140–200 кг/с [1]).

Работа внешних сил определится выражением (рисунок 1):

$$\sum A = - F_{\text{сопр}} x + G \sin \beta \cos(\varphi - \psi) x + P_K \cos \psi x + F_{TP} \sin \psi x \quad (13)$$

где x – перемещение упругого элемента, м;

$$x = \frac{\pi}{2} \cdot R \cdot \varphi$$

С учетом (12) и (13) выражение (11) запишется в виде:

$$-\frac{m \cdot V_0^2}{2} = -F_{\text{comp}} x + G \sin \beta \cos(\varphi - \psi) x + P_K \cos \psi x + F_{TP} \sin \psi x \quad (14)$$

Подставив значения и преобразовав, получаем:

$$V_0^2 = \frac{2 \cdot x}{m} \cdot (F_{\text{comp}} - G \cdot \sin \beta \cdot \cos(\varphi - \psi) - P_K \cdot \cos \psi - F_{TP} \cdot \sin \psi) \quad (15)$$

или

$$V_0^2 = \frac{\pi \cdot R \cdot \varphi}{m} (m \cdot g \cdot \cos \beta - m \cdot g \cdot \sin \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) - \frac{2 \cdot \varphi \cdot G_C \cdot J_P}{\pi} \cdot \cos \psi - \frac{2 \cdot \varphi \cdot G_C \cdot J_P}{\pi} \cdot f \cdot \sin \psi \quad (16)$$

Сгруппируем величины и сократим:

$$V_0^2 = \pi \cdot R \cdot \varphi \cdot g (\cos \beta - \sin \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) - 2 \cdot R \cdot G_C \cdot J_P \cdot \varphi^2 \cdot (\cos \psi + f \cdot \sin \psi) \quad (17)$$

Тогда начальная скорость компонента картофельного вороха в результате взаимодействия с упругим элементом интенсификатора:

$$V_0 = \sqrt{\pi \cdot R \cdot \varphi \cdot g (\cos \beta - \sin \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) - 2 \cdot R \cdot G_C \cdot J_P \cdot \varphi^2 \cdot (\cos \psi + f \cdot \sin \psi)} \quad (18)$$

Таким образом, получена математическая модель, в которой начальная скорость компонента картофельного вороха (вторая фаза взаимодействия) описана как функция от параметров упругого элемента и характеристик картофельного вороха.

Анализ математической модели (18) изменения начальной скорости компонента после взаимодействия с упругим элементом в зависимости от угла его закручивания ($V_0 = f(\varphi)$) показывает, что изменение скорости компонента максимально при небольших углах закручивания (рисунок 3). Начиная с угла $\varphi = 0,2$ рад, изменение скорости практически прямо пропорционально углу закручивания. При этом диаметр упругого элемента не оказывает существенного влияния на начальную скорость компонента картофельного вороха после взаимодействия. Следует отметить, что масса компонента будет влиять на угол закручивания. Для компонентов

картофельного вороха с массой $m = 0,1 \dots 0,2$ кг угол закручивания составляет $0,5 \dots 0,6$ рад, что примерно соответствует скорости $V_0 = 1,2$ м/с.

В третьей фазе движения компонент картофельного вороха преодолевает сопротивление вороха, приобретает скорость и движется по поверхности пруткового конвейера как свободное тело. Компонент картофельного вороха в начальный момент участвует в сложном движении: движется совместно с упругим элементом навстречу движению конвейера, а также вдоль упругого элемента, смещаясь поперек конвейера (пруткового полотна). Очевидно, что направление абсолютной скорости будет совпадать с направлением равнодействующей и будет отклонено от нормали к упругому элементу (рисунок 4) на угол $(\varphi - \psi)$. Через центр тяжести компонента будет проходить равнодействующая скорости.

$V_0(\varphi)$, м/с

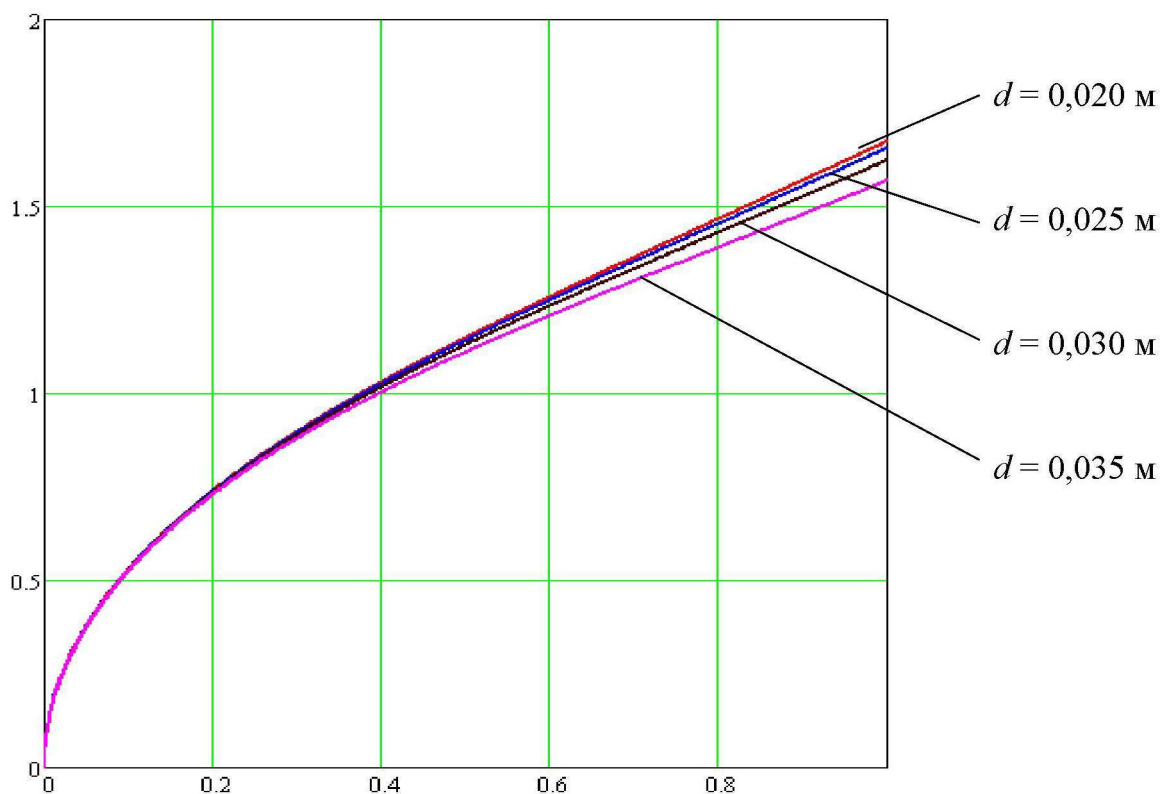


Рисунок 3 – Зависимость начальной скорости компонента после взаимодействия с упругим элементом от угла его закручивания при различных значениях диаметра упругого элемента

Рассмотрим движение компонента картофельного вороха с учетом следующих допущений:

- компонент картофельного вороха получает максимально возможную скорость от упругого элемента;
- при движении компонента по полотну преобладают силы сопротивления на основе внутреннего трения вороха (т.е. качение компонентов отсутствует);
- компоненты движутся по полотну пруткового конвейера в одной плоскости.

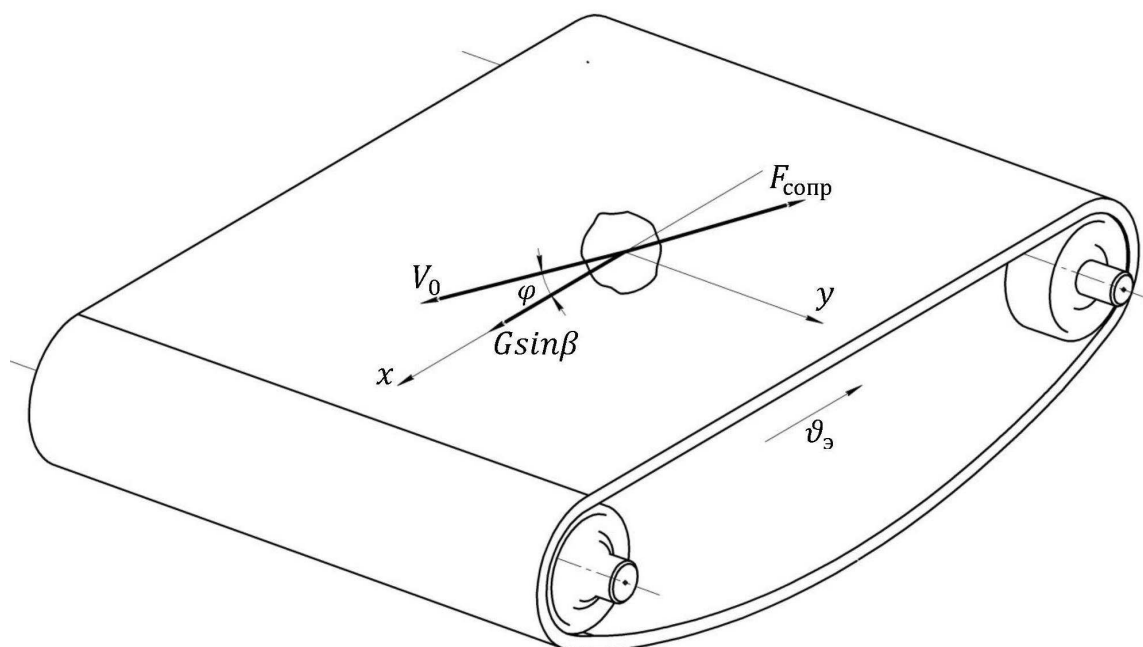


Рисунок 4. Схема движения компонента в третьей фазе взаимодействия

Запишем дифференциальные уравнения движения компонентов:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = G \cdot \sin \beta - F_{сопр} \cdot \cos(\varphi - \psi) \\ m \cdot \ddot{y} = F_{сопр} \cdot \sin(\varphi - \psi) \end{cases} \quad (19)$$

Подставим в выражение (8) значения приложенных сил и преобразуем:

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \cdot \sin \beta - f_{внут} \cdot g \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi) \end{cases} \quad (20)$$

$$\ddot{y} = f_{BHYT} \cdot g \cdot \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi)$$

Для интегрирования дифференциальных уравнений проведем замену

$$\ddot{x}, \ddot{y} \text{ на } \frac{d\dot{x}}{dt} \text{ и } \frac{d\dot{y}}{dt} \text{ соответственно.}$$

Разделив переменные, получим:

$$\begin{cases} d\dot{x} = g(\sin \beta - f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) dt \\ d\dot{y} = g \cdot f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi) dt \end{cases} \quad (21)$$

Проинтегрировав выражение (10), имеем:

$$\begin{cases} \dot{x} = V_x = g \cdot (\sin \beta - f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) \cdot t + C_1 \\ \dot{y} = V_y = g \cdot f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi) \cdot t + C_2 \end{cases} \quad (22)$$

Для определения постоянных интегрирования C_1 и C_2 подставим в выражения (11) начальные условия:

$$t = 0; \quad V_{xO} = V_0 \cdot \cos(\varphi - \psi) - V_E; \quad V_{yO} = V_0 \cdot \sin(\varphi - \psi)$$

Отсюда:

$$C_1 = V_0 \cdot \cos(\varphi - \psi); \quad C_2 = -V_0 \cdot \sin(\varphi - \psi)$$

Тогда выражение (22) будет выглядеть:

$$\begin{cases} \dot{x} = V_x = g \cdot (\sin \beta - f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) \cdot t + V_0 \cdot \cos(\varphi - \psi) - V_E \\ \dot{y} = V_y = g \cdot f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi) \cdot t \pm V_0 \cdot \sin(\varphi - \psi) \end{cases} \quad (23)$$

Аналогичным образом, преобразовав выражение

$$\begin{cases} dx = V_0 \cdot \cos(\varphi - \psi) dt + g \cdot (\sin \beta - f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) t dt - V_E \cdot t \\ dy = \pm V_0 \cdot \sin(\varphi - \psi) dt + g \cdot f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi) t dt \end{cases} \quad (24)$$

Проинтегрируем:

$$\begin{cases} x = V_0 \cdot \cos(\varphi - \psi) t + g \cdot \frac{t^2}{2} (\sin \beta - f_{BHYT} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) - V_E \cdot t + C_3 \\ y = \pm V_0 \cdot \sin(\varphi - \psi) t + g \cdot \frac{t^2}{2} f_{BHYT} \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi) + C_4 \end{cases} \quad (25)$$

Подставив начальные условия при $t = 0$ и $x_0 = 0$ имеем $C_3 = 0$ и $C_4 = 0$.

Таким образом, окончательно получаем математическую модель движения компонента картофельного вороха по полотну конвейера (третья фаза взаимодействия):

$$\begin{cases} x = V_0 \cdot \cos(\varphi - \psi) t + g \cdot \frac{t^2}{2} (\sin \beta - f_{\text{ВНУТ}} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\varphi - \psi)) - V_E \cdot t \\ y = \pm V_0 \cdot \sin(\varphi - \psi) t + g \cdot \frac{t^2}{2} f_{\text{ВНУТ}} \cos \beta \cdot \sin(\varphi - \psi) \end{cases} \quad (26)$$

Графическая интерпретация математической модели (26) представлена на рисунке 5.

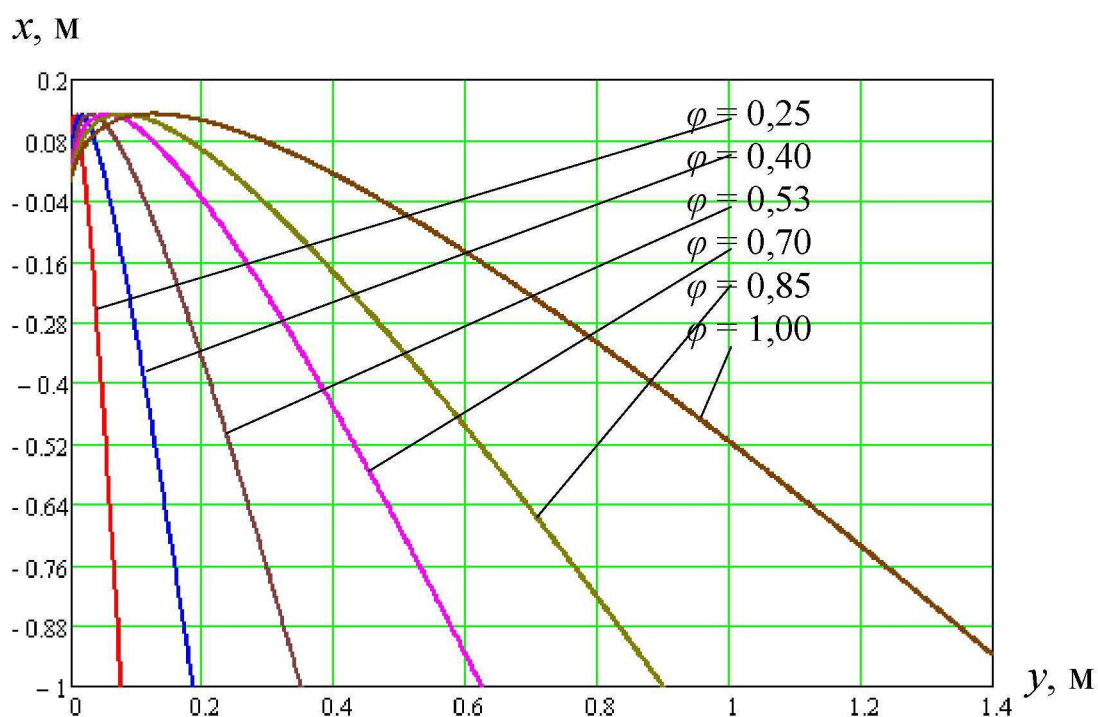


Рисунок 5. Траектории перемещения компонентов вороха при различных углах закручивания рабочего элемента интенсификатора

Анализ траектории движения компонентов картофельного вороха с учетом углов закручивания упругого элемента показывает (рисунок 5), что угол закручивания (а также и начальная скорость компонента после взаимодействия) существенно влияет на поперечное перемещение компонентов картофельного вороха по полотну конвейера. Знак «-» перед координатой x говорит о том, что компонент перемещается в направлении,

обратном направлении начальной скорости V_0 , т.е. в направлении движения конвейера. Анализ траекторий показывает, что при угле закручивания упругого элемента $\varphi = 0,53$ рад, поперечное перемещение компонентов картофельного вороха будет составлять 0,35 м (соответствует начальной скорости $V_0 = 1,18$ м/с), что равно половине ширины ряда картофеля (при междурядье 70 см) и вполне достаточно для выравнивания подачи по ширине конвейера. Большее перемещение компонентов вороха в поперечном направлении также нежелательно, т.к. оно может привести к повреждению клубней о неподвижные боковины рабочего органа сепарации.

Разработанная математическая модель процесса взаимодействия упругих рабочих элементов интенсификатора сепарации с компонентами картофельного вороха является научным обоснованием нового технико-технологического решения [3] в картофелеуборочных комбайнах. Использование данной модели позволяет выбирать рациональные значения и диапазоны конструктивно-технологических параметров органа сепарации для их дальнейшего уточнения и оптимизации в рамках экспериментальных исследований.

Список литературы

1 Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин: Учебное пособие / Н.В. Бышов, А.А. Сорокин, И.А. Успенский, и др. – Рязань: РГАТУ, 2005. – 284 с.

2 Рембалович, Г.К. Исследование равномерности просеивания почвы по ширине конвейера первичной сепарации в картофелеуборочных машинах / Г.К. Рембалович // Вестник РГАТУ. – 2013. – № 4. – С. 79–82.

3 Патент на изобретение РФ №2438289 МПК А 01 D 33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины. Авторы: Рязанов Н.А., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Юхин И.А., Кулик С.Н., Булатов Е.П. Опубл. 10.01.2012 Бюл. №1.

4 Инновационные машинные технологии в картофелеводстве России / С.С. Туболев, Н.Н. Колчин, Н.В. Бышов и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 10. – С. 3–5.

5 Бышов, Н.В. Исследование рабочего процесса вибрационного решета при просеивании воскоперговой массы / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – №1. – С. 160-162.

6 Каширин, Д.Е. Усовершенствование технологического процесса отделения перги от восковых частиц / Д.Е. Каширин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. – 2009. – № 4. – С. 26–29.

7 Костенко, М.Ю. Исследование сепарирующей способности прутковых элеваторов / М.Ю. Костенко, Н.А. Костенко // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава ФГОУ ВПО РГАТУ имени П.А. Костычева. – Рязань, 2008 – С. 146–148.

8 Рембалович, Г.К. Повышение надежности технологического процесса и технических средств машинной уборки картофеля по параметрам качества продукции / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, Р.В. Безносюк, Н.А. Рязанов, В.Г. Селиванов // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 3. – С. 6–8.

9 Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях Рязанской области / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, А.А. Голиков [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2013. – № 17. – С. 64–68.

10 Костенко М.Ю. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин: Дисс... д-ра техн. наук / М.Ю. Костенко. – Рязань, 2011. – 345 с.

References

1 Principy i metody rascheta i proektirovaniya rabochnih organov kartofeleuborochnyh mashin: Uchebnoe posobie / N.V. Byshov, A.A. Sorokin, I.A. Uspenskij, i dr. – Rjazan': RGATU, 2005. – 284 s.

2 Rembalovich, G.K. Issledovanie ravnomernosti proseivaniya pochvy po shirine konvejera pervichnoj separacii v kartofeleuborochnyh mashinah / G.K. Rembalovich // Vestnik RGATU. – 2013. – № 4. – S. 79–82.

3 Patent na izobrenenie RF №2438289 MPK A 01 D 33/08. Separirujushhee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny. Avtory: Rjazanov N.A., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K., Juhin I.A., Kulik S.N., Bulatov E.P. Opubl. 10.01.2012 Bjul. №1.

4 Innovacionnye mashinnye tehnologii v kartofelevodstve Rossii / S.S. Tubolev, N.N. Kolchin, N.V. Byshov i dr. // Traktory i sel'hozmashiny. – 2012. – № 10. – S. 3–5.

5 Byshov, N.V. Issledovanie rabocheho processa vibracionnogo resheta pri proseivanii voskopergovoj massy / N.V. Byshov, D.E. Kashirin // Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – №1. – S. 160-162.

6 Kashirin, D.E. Usovershenstvovanie tehnologicheskogo processa otdelenija pergi ot voskovyh chastic / D.E. Kashirin // Vestnik FGOU VPO MGAU im. V.P. Gorjachkina. – 2009. – № 4. – S. 26–29.

7 Kostenko, M.Ju. Issledovanie separirujushhej sposobnosti prutkovyh jelevatorov / M.Ju. Kostenko, N.A. Kostenko // Sbornik nauchnyh trudov professorsko-prepodavatel'skogo sostava FGOU VPO RGATU imeni P.A. Kostycheva. – Rjazan', 2008 – S. 146–148.

8 Rembalovich, G.K. Povyshenie nadezhnosti tehnologicheskogo processa i tehniceskikh sredstv mashinnoj uborki kartofelja po parametram kachestva produkcii / G.K. Rembalovich, I.A. Uspenskij, R.V. Beznosjuk, N.A. Rjazanov, V.G. Selivanov // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2012. – № 3. – S. 6–8.

9 Analiz jekspluatacionno-tehnologicheskikh trebovanij k kartofeleuborochnym mashinam i pokazatelej ih raboty v uslovijah Rjazanskoj oblasti / G.K. Rembalovich, I.A. Uspenskij, A.A. Golikov [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2013. – № 17. – S. 64–68.

10 Kostenko M.Ju. Tehnologija uborki kartofelja v slozhnyh polevyh uslovijah s

применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин:
Diss... d-ra tehn. nauk / M.Ju. Kostenko. – Rjazan', 2011. – 345 s.