

Исследование и обоснование параметров лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором картофельного вороха

Сергей Грушецкий, Юрий Фирман

Подольский государственный аграрно-технический университет
Ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Украина, e-mail: g.sergiy.69@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросу уменьшения механических повреждений клубней при обеспечении качественных показателей процесса сепарации картофельного вороха путём разработки конструкции и оптимизации параметров и режимов работы лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором. Выполнен анализ существующих конструктивно-технологических схем картофелеуборочных машин, анализ конструкций и результаты экспериментально-теоретических исследований подкапывающих рабочих органов, способов активизации сепарации и воздействия рабочих органов на картофельный ворох, который показал, что несовершенство существующей картофелеуборочной техники состоит, прежде всего, в низкой надежности выполнения технологического процесса при отклонении условий уборки от своего допустимого значения. Поэтому важным заданием есть разработка такой картофелеуборочной машины с сепарирующим устройством, которая бы позволяла изменять степень своего воздействия на картофельный ворох, тем самым приспособиваясь к конкретным условиям уборки.

Теоретически исследовано явление сепарации и разработаны математические модели движения тела по поверхности лемешно-отвальной и сепаратору и процесса сепарации трехкомпонентного картофельного вороха. Получены теоретические и экспериментальные зависимости влияния конструктивных и кинематических параметров работы машины и сепаратора на качественные показатели работы. Составлен алгоритм технологического расчета картофелекопателя.

Экспериментально определены эмпирические коэффициенты математической модели для суглинка среднего. Разработана методика исследований, изготовлен испытательный образец лабораторной установки для исследования барабанного сепаратора на рациональные параметры процесса сепарации, на основании которых установлены рациональные параметры и режимы работы барабанного сепаратора и мощности на его привод. Изготовлена полевая установка для исследования картофелекопателя в целом на эффективность сепарации, степень повреждения, величину потерь и общую мощность на агрегатирование.

Проведено экономическое оценивание эффективности использования картофелекопателя с барабанным сепаратором. Выполненные расчеты показывают, что использование разработанного картофелекопателя в картофелеуборочных машинах позволит повысить производительность их работы, а также уменьшит степень повреждения ими картофеля.

Ключевые слова: лемешно-отвальный картофелекопатель, барабанный сепаратор, картофельный ворох, процесс сепарации, оптимизация, мощность на агрегатирование.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Уменьшение механических повреждений клубней при обеспечении качественных показателей процесса сепарации картофельного вороха путем разработки конструкции и оптимизации параметров и режимов работы лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованием взаимодействия рабочих органов сельскохозяйственных машин с почвой занимались П.М. Василенко, В.П. Горячкин, А.Н. Зеленин, В.А. Желиговский, В.О. Дубровин, И.А. Нищенко, А.М. Панченко, В.С. Бончик и др. Весомый вклад в разработку новых сепарирующих рабочих органов и исследование процесса их работы внесли известные ученые: Г.Д. Петров, И.Р. Розмислович, М.Е. Мацепура, В.М. Булгаков, Р.Б. Гевко, И.Н. Бендера, А.П. Дорохов, Г.П. Солодухин, Н.И. Верещагин, С.В. Смолинский, Ю.П. Фирман [1-6]. Анализ показал, что процесс сепарации картофельного вороха, а также его взаимодействие с сепарирующими рабочими органами теоретически и экспериментально исследованы недостаточно.

В частности, в моделях сепарации учитывается активное действие сепарирующих поверхностей на ворох, поврежденность клубней, энергозатраты на сепарацию и др.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Согласно целей исследования были поставлены следующие задачи: проанализировать существующие конструкции картофелеуборочных машин, результаты экспериментальных и теоретических исследований подкапывающих рабочих органов и сепараторов картофельного вороха и на их основе разработать новую конструкцию картофелекопателя с барабанным сепаратором; обосновать конструктивную схему разработанного лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором картофельного вороха; разработать математические модели движения картофельного вороха по лемешно-отвальной поверхности просеивания мелкой фракции почвы, перемешивания вороха, разрушения комков и повреждения клубней на барабанном сепараторе; теоретически исследовать процесс работы лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором, а также оптимизировать основные параметры и режимы, на основании результатов лабораторно-полевых экспериментальных исследований уточнить оптимальные значения параметров и режимов работы исследуемого рабочего органа и определить агротехнические показатели работы картофелеуборочной машины с установленным на нее сепаратором, определить эффективность использования лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором.

ИЗЛОЖЕНИЯ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Картофелеводство – одна из отраслей сельского хозяйственного производства, работа в которой связана со значительными энергозатратами и затратами труда. Затраты на механизированную уборку составляют 50-60% от общих затрат, из них около 55% затрат энергии приходится на сепарирующие рабочие органы. До 60-70% затрат труда приходится на уборку. Это объясняется тем, что в подкапанной клубненоносной массе, которая подается на сепарирующие рабочие органы, содержание клубней картофеля составляет всего 2-3% от общей массы. Поэтому качество исходного продукта в большей степени зависит от работы сепараторов. Из этого следует, что сепарирующие рабочие органы являются основой для обеспечения качественных показателей работы картофелеуборочных машин.

Проведенным анализом конструктивного исполнения и основных характеристик различных сепарирующих устройств, установлено, что подавляющее большинство сепараторов использует нерациональные способы воздействия, что не позволяет регулировать интенсивность его на картофельный ворох. На основе известных теоретических и экспериментальных исследований проанализированы механико-технологические свойства картофельного вороха и закономерности процесса сепарации.

Анализ действующих сепарирующих устройств и способов их воздействия на пласт показал, что в процессе работы используются нерациональные виды деформации – удар и сжатие, что приводит к значительным повреждениям клубней. В связи с этим встал вопрос создания совершенной конструкции сепаратора картофелеуборочной машины и исследования его работы, которая бы действовала на ворох менее энергозатратно деформациями разрыва, смещения и обеспечила уменьшение повреждения клубней и повышения степени сепарации картофельного вороха.

Нами предложена конструкция картофелеуборочной машины с барабанным сепаратором (рис. 1) [7-11].

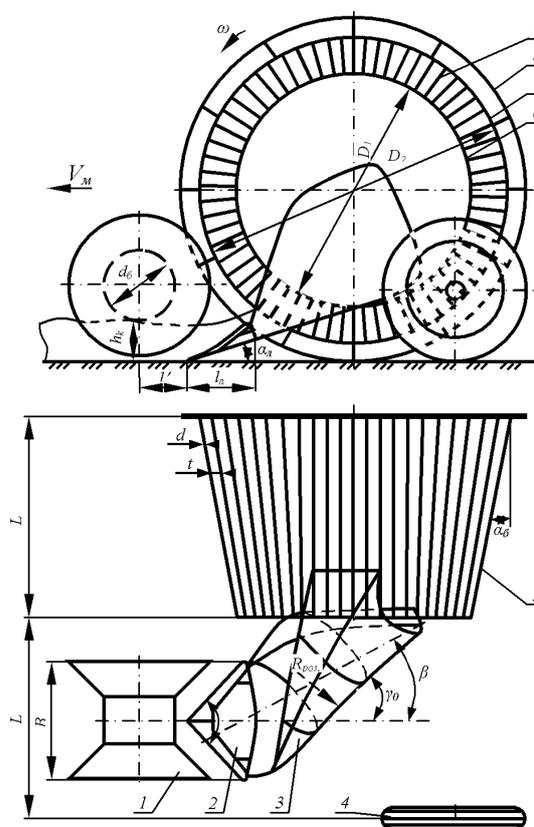


Рис. 1. Технологическая схема картофелеуборочной машины с барабанным сепаратором: 1 – копировальный комкодавляющий каток, 2 – цилиндрический лемех, 3 – отвал, 4 – регулировочное опорное колесо, 5 – барабанный сепаратор, 6 – диаметр меньшего основания, 7 – диаметр большего основания, 8 – обод сцепления, 9 – прутки

Fig. 1. Technological scheme of potato harvester drum separator: 1 – copy komkodavyaschy rink, 2 – tsilindroidalny share, 3 – blade, 4 – adjusting the support wheel, 5 – drum separator, 6 – the diameter of the smaller base, 7 – the diameter of the larger base, 8 – rim clutch, 9 – rods

Преимущества предлагаемой конструкции в том, что сепарация клубней от почвы происходит за счет уменьшения подачи пласта почвы при ее движении под углом по цилиндрическому лемеху; крошения пласта во время его движения по винтовому правостороннему отвалу и повороте его на определенный угол; крошения

пласта во время его попадания в прутково-конусный барабан; растяжения материала пласта внутри рабочей поверхности барабана.

В результате анализа процесса сепарации и конструкции картофелеуборочной машины с барабанным сепаратором идентифицированы их главные конструктивно-технологические параметры, установлено взаимосвязи между ними (табл. 1) [1, 12].

Таблица 1. Конструктивно-технологические параметры картофелеуборочной машины

Table 1. Structural and technological parameters of the potato harvester

Название параметра	Обозн.	Ед. измер.
Параметры подкапывающей части:		
глубина копания клубней	h_k	м
ширина лемеха	B	м
угол наклона лемеха	α_n	град.
угол схода растительных остатков	γ	град.
длина: лемеха, лезвия	l_n, l	м
угол наклона рабочей поверхности клина до горизонта	ε_0	град.
Параметры подающей части картофельного вороха:		
угол подъема, крошения и рыхления картофельного вороха	α_2	град.
угол наклона картофельного пласта	β	град.
угол смещения картофельного вороха	γ_0	град.
расчетное значение радиуса лемешно-отвальной поверхности корпуса	$R_{роз}$	м
ширина вмятины и длина отвальной поверхности	B, L	м
угол постановки отвальной поверхности к направлению движения	β	град.
Параметры барабанного сепаратора:		
диаметр: меньшего и большего основания	D_1, D_2	м
угол: конусности и наклона оси к горизонту	$\alpha_{\sigma} \gamma$	град.
длина	L	м
круговая скорость	V_{κ}	м/с
диаметр прутка	d	м
просветы между прутками	t	м
общая площадь сепаратора	S	м ²
Режимы работы копателя в целом:		
технологическая пропускная способность	Q	кг/с
тяговое сопротивление копателя	R_a	кН
затраты мощности на агрегатирование	N_a	кВт

Очевидно, что и процесс движения частиц и перемешивания вороха, разрушения комков почвы и просеивания мелких частиц зависят от распределения фракций почвы по толщине вороха. Исходя из этого, можно построить развернутую модель процесса движения частиц вороха по лемешно-отвальной поверхности и сепарации картофельного вороха (рис. 2).

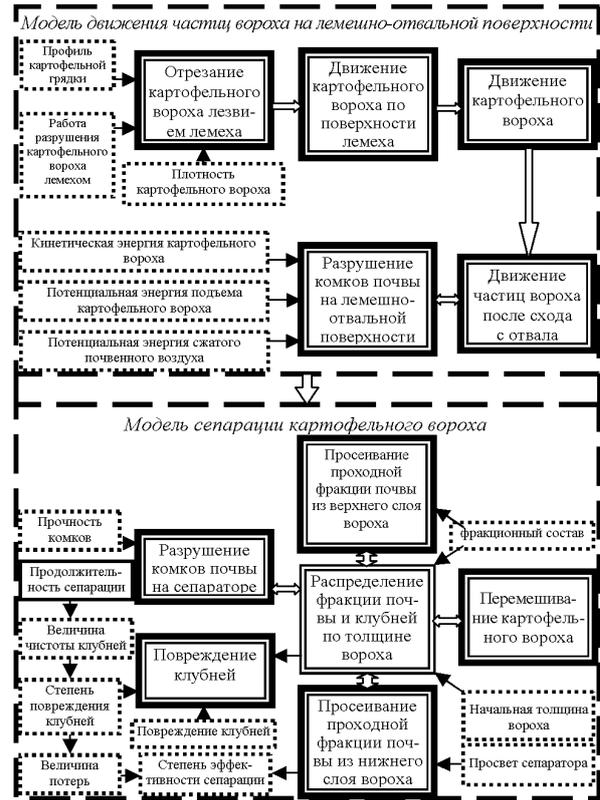


Рис. 2. Развернутая модель движения частиц вороха по лемешно-отвальной поверхности и сепарации картофельного вороха

Fig. 2. The detailed model of particle motion heap of moldboard plow-surface separation and potato heap

Для обоснования такой математической модели следует рассмотреть сначала все составляющие независимо друг от друга, а затем перейти от частного к общему, т.е. объединить отдельные влияния в конечную модель процесса движения частиц вороха по лемешно-отвальной поверхности и сепарации картофельного вороха.

Исследование движения лезвия в картофельном ворохе (рис. 3) будем основывать на следующих предположениях:

- относительные скорости частицы до и после столкновения с лезвием лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности, удар частицы о поверхность считаем абсолютно неупругим (коэффициент восстановления равен нулю),
- сила сопротивления перемещению частицы в пространстве между окружающими неподвижными частями противоположна по направлению вектора ее абсолютной скорости,
- реакция поверхности, приложенная к частному, совпадает по направлению с абсолютной скоростью частицы,
- сила сопротивления перемещению группы частиц, заполняющих площадку dF , пропорциональна величине площадки.

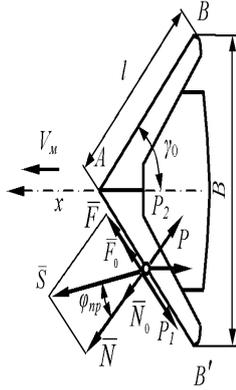


Рис. 3. Схема пассивного цилиндрического лемеха
Fig. 3. Scheme of a passive cylindrical plowshares

Интегрируя полученные выражения в пределах от ε_1 до $\pi/2$ и удваивая (для двух симметричных половин лезвия), найдем численные значения составляющих \bar{N} и \bar{F} полного усилия \bar{S} резания (рис. 3) [13]:

$$N_{n1} = k_n B \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \gamma_1} \int_{\varepsilon_1}^{\pi/2} \left(\cos \varepsilon + f \cos \gamma_1 \frac{\sin^2 \varepsilon}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma_1 \cos^2 \varepsilon}} \right) \rho(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (1)$$

$$N_{n1} = k_n B \frac{\cos^2 \varphi}{\sin \gamma_1} \int_{\varepsilon_1}^{\pi/2} \left(\sin \varepsilon + f \sin \gamma_1 \frac{\cos^2 \varepsilon}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma_1 \sin^2 \varepsilon}} \right) \rho(\varepsilon) d\varepsilon,$$

$$F_{n1} = k_n B \frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \gamma_1} \int_{\varepsilon_1}^{\pi/2} \frac{\rho(\varepsilon)}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma_1 \cos^2 \varepsilon}} d\varepsilon,$$

$$F_{n1} = k_n B \frac{\sin \varphi}{\operatorname{tg} \gamma_1} \int_{\varepsilon_1}^{\pi/2} \frac{\rho(\varepsilon)}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma_1 \sin^2 \varepsilon}} d\varepsilon. \quad (2)$$

Из формул (1, 2) видно, что усилия F_1 и N_1 зависят от параметров лезвия: угла ε_1 и γ_1 ; ширины захвата B , формы и размеров кривой ортогонального сечения лезвия (вида уравнения $\rho = \rho(\varepsilon)$); от коэффициента трения почвы о сталь f ; свойств почвы k .

Составляющие полного усилия S резки по оси координат для симметричного лезвия равны [13]:

$$\left. \begin{aligned} S_x &= 2 \left[(F_{n1} + F_{n2}) \sin \gamma_1 + (N_{n1} + N_{n2}) \cos \gamma_1 \right], \\ S_y &= 2 \left[(F_{n1} + F_{n2}) \cos \gamma_1 - (N_{n1} + N_{n2}) \sin \gamma_1 \right], \\ S_z &= 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

Теория резания вороха лезвием позволяет подойти к исследованию (в первом приближении) ряда сторон работы лезвия. Так, после введения некоторых предположений она может быть применена для исследования явлений износа лезвия (изучения изменения формы лезвия при износе, изменения сопротивления при износе лезвия, нахождения теоретической предельной формы изношенного лезвия и т.д.).

При проникновении лемеха в почву масса вороха под давлением P_B впереди лежащих неподкованных слоев перемещается по наклонной плоскости вверх, уплотняется, разрушаясь на мелкие фракции, что приводит к снижению напора и стружению вороха на лемехе. Для определения взаимосвязи этих параметров рассмотрим условие равновесия сил, действующих на лемех (рис. 4).

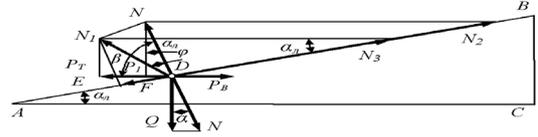


Рис. 4. Силы, возникающие в процессе обрезки, перемещения и передачи подкопанного вороха на отвальную поверхность
Fig. 4. The forces occurring during cutting, moving and transferring undermine heap dump on the surface

Fig. 4. The forces occurring during cutting, moving and transferring undermine heap dump on the surface

Сила P_T , перемещающая лемех со скоростью V_m^{\max} , фактически является тяговой и по величине равна силе P_B сопротивления вороха:

$$P_T = P_o + I = h_k B (K + \xi V_m^2), \quad (4)$$

где:

P_o – сила сопротивления пласта вороха смятию, кН,

I – сила инерции, кН,

h_k – глубина, подкапывания лемеха,

$h_k = 0,140 \dots 0,250$ м; B – ширина подкапывания, $B = 0,300 \dots 0,410$ м,

K – коэффициент сопротивления вороха пласта деформации, $K = 10$ кПа,

ξ – коэффициент зависящий от формы лемеха и физико-механических свойств вороха, $\xi = 64,22$ кг·с²/м⁴.

Находим силу P_B сопротивления вороха с учетом его перемещения вверх по наклонной плоскости. Для этого угол α_n установки лемеха со стороны его поверхности AB искусственно увеличим на угол трения φ . Для лемеха с суммарным углом установки $\alpha_n + \varphi$ найдем [13]:

$$P_B = (N / \cos \varphi) \sin(\alpha_n + \varphi) = (\pi h_k B l \gamma_1 \cos \alpha_n / 4 \cos \varphi) \sin(\alpha_n + \varphi), \quad (5)$$

где:

$\pi h_k B l \gamma_1 / 4 = Q$ – вес вороха, Н.

Целью моделирования движения картофельного вороха по отвальной поверхности ставилось условие исследования вращения пласта на определенный угол под действием приложенных к нему сил.

Известно, что при кручении стержня не круглого сечения между моментом, крутящим, действует в сечении, жесткостью и относительным углом закручивания, существует зависимость (рис. 5), превращая которую, имеем [14]:

$$M_{кр} = GI_{кр} \frac{d\varphi}{dS} = GI_{кр} \frac{\omega}{V_M}, \quad (6)$$

где:

$$\psi = \frac{d\varphi}{dS} = \frac{\omega}{V_M} \text{ — относительный угол закручивания пласта}$$

картофельной грядки длиной dS ,

$d\varphi$ — поворот сечения $a'c'b'$ по сечению acb вокруг оси \bar{t} ,

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \text{ — угловая скорость закручивания пласта,}$$

$$V_M = \frac{dS}{dt} \text{ — относительная скорость движения пласта (машины).}$$

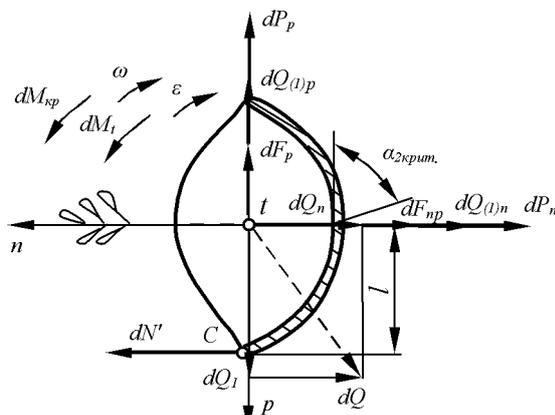


Рис. 5. Схема кручения пласта картофельной грядки как вращательное движение вокруг оси \bar{t}

Fig. 5. Driving torsion formation potato beds as a rotational movement around the axis \bar{t}

В момент отрыва элемента dS от лемешно-отвальной поверхности момент равнодействующей силы нормального давления dN' относительно точки C равен нулю. Тогда условие равновесия элемента (рис. 6) под действием приложенных к нему сил и моментов относительно точки C будет иметь вид:

$$\sum M_c = 0,$$

$$\sum M_c = (dQ_n + dF_n + dQ_{(1)n} + dP_n)l - (dM_{кр} + dM_l) = 0. \quad (7)$$

Подставив в уравнение (7) значения входящих в него величин, получим:

$$S_n^{\min} \gamma_z dSl \cos \alpha_2 + \left(\frac{S_n^{\min} \gamma_z V_M^2 k_n dS + EI_p \frac{d^2 k_n}{dS^2} dS + Pk_n dS \right) l - \left[GI_{кр} \frac{d^2 \varphi}{dS^2} dS + I_l \left(\omega_l \frac{d\varphi}{dS} + V_M^2 \frac{d^2 \varphi}{dS^2} \right) \right] = 0. \quad (8)$$

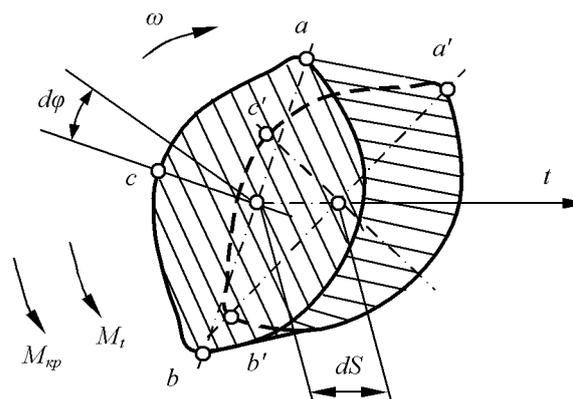


Рис. 6. Схема отрыва элемента dS от лемешно-отвальной поверхности относительно точки C

Fig. 6. The circuit separation element dS of the moldboard plow-surface relative to point C

Подставив в уравнение (7) значения входящих в него величин, получим:

$$S_n^{\min} \gamma_z dSl \cos \alpha_2 + \left(\frac{S_n^{\min} \gamma_z V_M^2 k_n dS + EI_p \frac{d^2 k_n}{dS^2} dS + Pk_n dS \right) l - \left[GI_{кр} \frac{d^2 \varphi}{dS^2} dS + I_l \left(\omega_l \frac{d\varphi}{dS} + V_M^2 \frac{d^2 \varphi}{dS^2} \right) \right] = 0. \quad (8)$$

Из уравнения (8) определим критическое значение угла α_2 , при котором начинается отрыв элемента пласта dS от лемешно-отвальной поверхности:

$$\alpha_{2крит.} = \arccos \left[\frac{GI_{кр} \frac{d^2 \varphi}{dS^2} dS + I_l \left(\omega_l \frac{d\varphi}{dS} + V_M^2 \frac{d^2 \varphi}{dS^2} \right)}{S_n^{\min} \gamma_z dSl} - \left(\frac{V_M^2 k_n}{2g} + \frac{EI_p \frac{d^2 k_n}{dS^2} + Pk_n}{S_n^{\min} \gamma_z} \right) \right]. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что величина $\alpha_{2крит.}$ уменьшается с увеличением жесткости $GI_{кр}$ пласта на кручение и зависит от скорости движения пласта V_M относительно угла закручивания пласта $d\varphi/dS$, жесткости пласта EI_p , на изгиб в плоскости осей \bar{n} и \bar{t} нормальной кривизны траектории k_n , коэффициента трения f пласта об отвал и размеров пласта.

Используя основные положения математической физики, обоснована модель сепарации картофельного вороха [15-22]:

– перемешивание вороха:

$$q(z, t_{i+1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b \Delta t}} \int_0^h q(z, t_i) \left(e^{-\frac{(x-z)^2}{2b\Delta t}} + e^{-\frac{(x+z)^2}{2b\Delta t}} + e^{-\frac{(x+z-2l)^2}{2b\Delta t}} \right) dx, \quad (10)$$

где:

h – толщина слоя вороха, м;

$$t_{i+1} = t_i + \Delta t, \quad 0 \leq t_i \leq T.$$

– степень разрушения комков:

$$\varepsilon = k_1 e^{-k_2 \cdot z} \Delta t, \quad (11)$$

где:

k_1 и k_2 – эмпирические коэффициенты, зависящие от механических свойств комков почвы,

z – расстояние от рабочего органа до комка,

Δt – вероятность времени перемещения частицы в координату z .

Тогда уравнение перемешивания вороха будет иметь вид:

$$q(z, t_{i+1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b \Delta t}} \int_0^h q(z, t_i) \left(e^{-\frac{(x-z)^2}{2b\Delta t}} + (1-k_v) e^{-\frac{(x+z)^2}{2b\Delta t}} + e^{-\frac{(x+z-2h)^2}{2b\Delta t}} \right) dx + (12)$$

$$+ r(z, t_i) \cdot (1 - k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot z} \Delta t),$$

$$r(z, t_{i+1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b \Delta t}} \int_0^h r(z, t_i) \left(e^{-\frac{(x-z)^2}{2b\Delta t}} + (1-\tau) e^{-\frac{(x+z)^2}{2b\Delta t}} + e^{-\frac{(x+z-2h)^2}{2b\Delta t}} \right) dx - (13)$$

$$- r(z, t_i) \cdot (1 - k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot z} \Delta t),$$

$$k(z, t_{i+1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b \Delta t}} \int_0^h k(z, t_i) \left(e^{-\frac{(x-z)^2}{2b\Delta t}} + e^{-\frac{(x+z)^2}{2b\Delta t}} + e^{-\frac{(x+z-2h)^2}{2b\Delta t}} \right) dx, \quad (14)$$

где: $q(z, t_i)$, $r(z, t_i)$, $k(z, t_i)$ – относительное количество соответствия комков почвы проходной фракции, непроходной фракции и клубней картофеля на расстоянии z от сепарирующей поверхности в момент времени t ; b – коэффициент перемешивания вороха, с^{-1} , h – переменная толщина слоя вороха, м, k_v – коэффициент просеивания почвы; τ – коэффициент крошения почвы, $\tau = q_0/Q_0$; k_1 – характеризует разрушение комков; k_2 – определяет способность почвы к просеиванию; T – время сепарации, с,

– процесс просеивания почвы:

$$v = 1 - e^{-k_2 T} + (1 - \tau) \frac{k_2}{k_2 - k_1} (e^{-k_2 T} - e^{-k_1 T}),$$

$$q(T) = Q_0 e^{-k_2 T} - \frac{k_2}{k_2 - k_1} r_0 \left[e^{-k_2 T} - \frac{k_1}{k_2} e^{-k_1 T} \right],$$

$$r(T) = r_0 e^{-k_1 T}, \quad (15)$$

где: v – процесс просеивания почвы с учетом саморазрушения комков при их перемещении по сепаратору; $q(T)$ – количество просеянной почвы после некоторого конечного времени T , кг; Q_0 – общее количество вороха, поступающего на сепаратор, кг; $r(T)$ – количество крупных комков, что остались не разрушенными и сошли с сепаратора после некоторого конечного времени T , кг.

Поскольку разработанную модель процесса сепарации картофельного вороха аналитически решить и проанализировать невозможно, она была

реализована с помощью численных методов в математическом пакете MATLAB 6.

Характер повреждающих действий сепаратора на клубни подобно разрушающему воздействию на куски, интенсивность повреждений клубней картофеля будет увеличиваться с приближением сепарирующей поверхности и будет функцией от коэффициента интенсификации сепарации, длительности сепарации и расстояния от клубня до сепарирующей поверхности:

$$P_\sigma(z, t_i) = k_3 e^{-k_4 \cdot z} t_i, \quad (16)$$

где: P_σ – процесс просеивания почвы; k_3 – коэффициент, характеризующий способности клубней повреждению; k_4 – коэффициент, характеризующий степень снижения интенсивности повреждений клубней сепаратором с удалением от рабочей поверхности; z – расстояние от рабочего органа до клубня, м; t_i – время сепарации, с.

Степень повреждения клубней за все время сепарации будет равным:

$$P_\sigma = Q \int_0^T \int_0^h (k(z, t_i) \cdot (1 - k_3 \cdot e^{-k_4 \cdot z} \Delta t)) dz dt. \quad (17)$$

Технологическую пропускную способность картофелекопателя определяли производительностью барабанного сепаратора в кг/с:

$$Q = \tau \gamma_n V_L S, \quad (18)$$

где:

τ – коэффициент измельчения почвенной массы. Если $\tau = 1$, то $W_0 = W'$ и измельчение почвы будет рациональным,

γ_n – плотность подкапывающего пласта, $\gamma_n = 1260 \text{ кг/м}^3$,

V_L – скорость осевого перемещения частицы,

S – площадь поперечного сечения почвы в барабане, м^2 .

$$Q = \tau \gamma_n \omega R_i t g \delta \cdot 1,9 \sqrt{R_i h^3}.$$

Мощность N_a , необходимая для агрегатирования картофелекопателя:

$$N_a = R_a V_p / 3,6, \quad (19)$$

где:

R_a – тяговое сопротивление картофелекопателя, кН,

V_p – максимально допустимая рабочая скорость картофелекопателя по пропускной способности барабанного сепаратора, км/час.

$$R_a = S_x + Q_{nx} + P_T + R_x + P_c,$$

где:

- S_x – резание почвы лезвием лемеха, кН,
- Q_n – деформация почвы лемехом и грудью полки, кН,
- P_T – преодоление сопротивлений от сил тяжести вороха и сил трения, распределенных по поверхности соприкосновения вороха с отвалом, кН,
- R_x – передача скорости частицам вороха,
- P_c – рабочее сопротивление, создаваемое при выполнении процесса сепарации барабанным сепаратором, кН.

Среди параметров барабанного сепаратора, которые наиболее могут влиять на процесс сепарации, в рамках экспериментальных исследований наибольший интерес вызывает исследование: Q – подача вороха на сепаратор, кг/с; V_k – круговая скорость вращения барабана, м/с; α_b – угол конусности барабана, град.

После получения экспериментальных данных проводилась их обработка с помощью приложения Microsoft Excel для ПЭВМ. Результаты обработки экспериментальных данных представлены в виде уравнения регрессии, являющегося математической моделью данного процесса, которое связывает параметры рабочего органа с показателями его работы.

Для показателя процента просеянной почвы уравнение регрессии в натуральной форме имеет вид:

$$v = -0,4279 - 0,7703 \times Q + 97,8337 \times V_k + 2,6069 \times \alpha_b + 0,5108 \times Q \times V_k - 0,0029 \times Q^2 - 29,505 \times V_k^2 - 0,1227 \times \alpha_b^2, \quad (20)$$

для интенсивности сепарации:

$$q = -56,7242 + 0,4997 \times Q + 110,7075 \times V_k - 1,0275 \times \alpha_b - 0,0053 \times Q^2 - 21,35 \times V_k^2, \quad (21)$$

для мощности на привод сепаратора:

$$N_{пр} = 11,0677 - 0,0234 \times Q - 6,9636 \times V_k - 0,2210 \times \alpha_b + 0,0608 \times V_k \times \alpha_b + 0,0002 \times Q^2 + 1,8706 \times V_k^2, \quad (22)$$

Полученные уравнения исследовались с помощью программного пакета MATLAB 6. Поверхность отклика приведена на рис. 7, а зависимости – рис. 8, 9.

В рамках полевых экспериментальных исследований наибольший интерес вызывает исследование поступательной скорости машины V_m , угол наклона лемеха α_l , угол постановки отвальной поверхности к направлению движения β . При этом определяли чистоту исходного вороха, эффективность работы сепаратора, повреждения и потери клубней. Все эти показатели выражались в %.

После получения экспериментальных данных проводилась их обработка с помощью приложения Microsoft Excel для ПЭВМ. Уравнения регрессии в расшифрованной форме имеют следующий вид:

для чистоты клубней:

$$C' = -72,6044 + 2,614795 \times \beta + 80,2356 \times V_m + 2,0970 \times \alpha_l - 0,3739 \times \beta \times V_m - 0,0855 \times \beta \times \alpha_l + 0,9323 \times V_m \times \alpha_l - 19,5156 \times V_m^2 - 0,0498 \times \alpha_l^2, \quad (23)$$

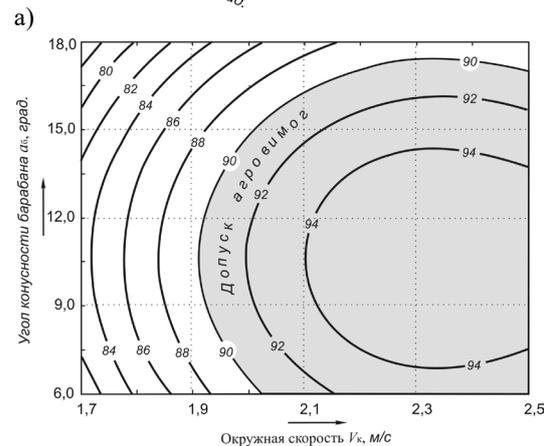
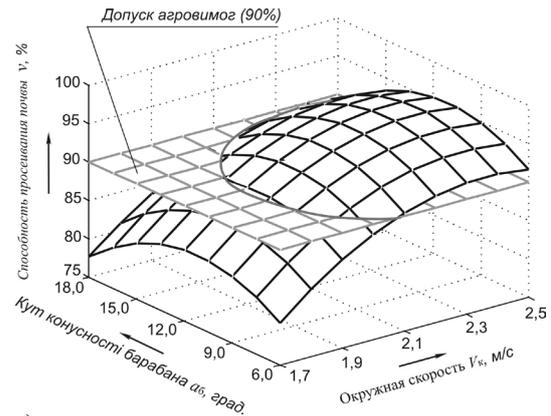


Рис. 7. Поверхность отклика (а) и двухмерное сечение (б) для способности просеивающей почвы v , окружной скорости V_k и угла конусности барабана α_b (при $Q = 80$ кг/с, почва – суглинок средний, $W = 16,5\%$)

Fig. 7. Response surface (a) two dimensional cross section and (b) screening for the ability of soil v , peripheral velocity V_k and the taper angle α_b drum (for $Q = 80$ kg/s, the soil – loam medium, $W = 16,5\%$)

для эффективности сепарации:

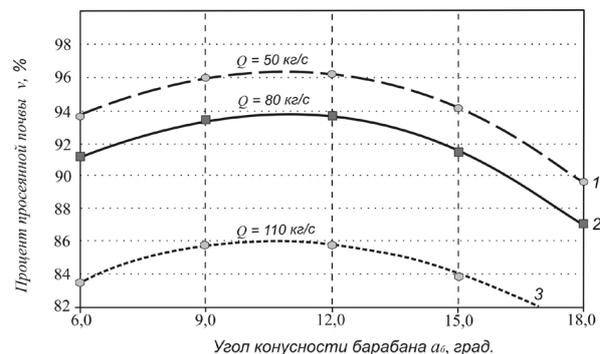


Рис. 8. Зависимость просеянной почвы от угла наклона сепаратора к горизонту при значениях подачи вороха: 1) 50 кг/с; 2) 80 кг/с; 3) 110 кг/с

Fig. 8. Dependence of the sieved soil from the separator angle to the horizon in the feed value heap: 1) 50 kg / s; 2) 80 kg / s; 3) 110 kg / s

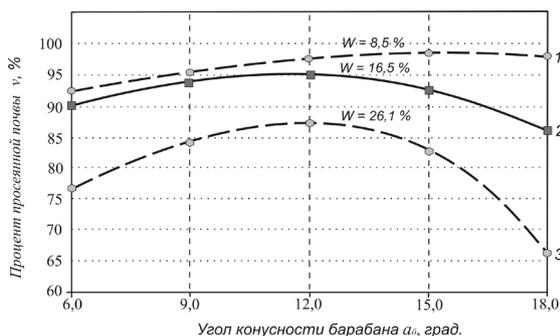


Рис. 9. Зависимость просеянной почвы от угла наклона сепаратора к горизонту при значениях влажности почвы: 1) 8,5%; 2) 16,5%; 3) 26,1%

Fig. 9. Dependence of the screened-stant soil from the separator angle to the horizon in the soil moisture values: 1) 8.5%; 2) 16.5%; 3) 26.1%

$$E = -46,6239 - 1,7266 \times \beta + 91,6089 \times V_M + 5,5439 \times \alpha_d + 1,3833 \times \beta \times V_M - 0,0285 \times \beta^2 - 28,0231 \times V_M^2 - 0,1229 \times \alpha_d^2, \quad (24)$$

для повреждения клубней:

$$P_b = 18,2441 - 0,2181 \times \beta - 10,5132 \times V_M - 0,4179 \times \alpha_d - 0,1164 \times \beta \times V_M - 0,5835 \times V_M \times \alpha_d + 0,0083 \times \beta^2 + 8,2238 \times V_M^2 + 0,0272 \times \alpha_d^2, \quad (25)$$

для потери клубней:

$$B_o = 3,9366 - 4,6970 \times V_M - 0,1999 \times \alpha_d - 0,0386 \times \beta \times V_M + 0,2718 \times \beta - 0,0643 \times V_M \times \alpha_d - 0,0032 \times \beta^2 + 1,8200 \times V_M^2 + 0,0075 \times \alpha_d^2, \quad (26)$$

для общей мощности на агрегатирование:

$$N_a = 13,8143 - 0,4772 \times \beta - 15,1027 \times V_M + 0,9582 \times \alpha + 0,0092 \times \beta^2 + 4,27 \times V^2 - 0,0180 \times \alpha^2. \quad (27)$$

Полученные уравнения исследовались с помощью программного пакета MATLAB 6.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало, что разработанная математическая модель процесса сепарации картофельного вороха является адекватной.

В результате оценки экономической эффективности использования лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором установлено, что при условии нормативной годовой загрузки экономический эффект от его использования составляет 1487,46 грн./га или 45745 грн. в год по сравнению с однорядным картофелекопателем КТ-0,6 на одну машину.

ВЫВОДЫ

1. На основе комплексных исследований предложена технологическая схема картофелекопателя, рабочие органы которого (лемешно-отвальный подкапыватель и барабанный сепаратор) взаимодействуют

с картофельным ворохом из-за деформации растяжения и сдвига, что позволяет эффективно отсепарировать почву в различных условиях уборки клубней, при этом уменьшая механические повреждения и обеспечивая качественные показатели процесса сепарации картофельного вороха путем оптимизации параметров и режимов его работы.

2. Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало отклонение в пределах 5%, что указывает на адекватность математической модели процесса сепарации картофельного вороха.
3. Установлено, что при нормативной годовой нагрузке лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором в связи с уменьшением эксплуатационных затрат на единицу уборанной площади, увеличением выхода товарной продукции и снижением степени повреждения клубней экономический эффект от его использования составляет 1487,46 грн./га или 45745 грн. в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Петров Г.Д. 1984.** Картофелеуборочные машины. – М. Машиностроение, 320.
2. **Размыслович И.Р., Ладутько С.Н. 1967.** Экспериментальные, лабораторные и полевые исследования битеров картофелеуборочных машин // Сельскохозяйственную технику – на уровень современных требований. Сб. науч. трудов БИМСХ. – Минск: Ураджай, 131-138.
3. **Козаченко Б.О., Булгаков В.М., Ищенко В.В., Смолинський С.В., Бондаренко А.Л. 1999.** Основные направления и перспективы создания новых машин для уборки картофеля. / В кн. Сб. науч. работ НАУ “Механизация сельскохозяйственного производства”, т. VI. – К. 331-335.
4. **Бончик В.С. 2001.** Разработка и обоснование параметров ротационного картофелекопача: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 – Луцк, – 175. (Украина).
5. **Смолинський С.В. 2002.** Обоснование конструкции и параметров спирального сепаратора картофельного вороха: дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – К. 152. (Украина).
6. **Фирман Ю.П. 2006.** Обоснование параметров и режимов работы ленточного сепаратора картофелеуборочной машины: дис. канд. техн. наук: 05.05.11. Львов, – 161. (Украина).
7. **Грушецкий С.Н., Самокиш М.И., Бендера И.Н., Роздорожнюк П.И. 2003.** Пат. 56530А Украина, МКВ А01D17/04. Картофелеуборочная машина с барабанным сепаратором. – № 2002075794; заявл. 15.07. 02; опубл. 15.05. 03, Бюл. № 5. – 3. (Украина).
8. **Грушецкий С.Н., Самокиш М.И., Бендера И.Н., Роздорожнюк П.И., Гринчук А.В. 2003.** Пат. 60496А Украина, МКВ А01D19/14 Картофелеуборочная машина с барабанным сепаратором. – № 2002108274; заявл. 18.10. 02; опубл. 15.10. 03, Бюл. № 10. – 3 (Украина).

9. **Грушецкий С.Н., Самокиш М.И., Бендера И.Н., Роздорожник П.И., Врадин В.В. 2004.** Пат. 66253А Украина, МКВ А01В77/00. Картофелеуборочная машина с барабанным сепаратором. – № 2003098307; заявл. 08.09. 03; опубл. 15.04. 04, Бюл. № 4, 4. (Украина).
10. **Грушецкий С.Н., Самокиш М.И., Бендера И.Н., Роздорожник П.И., Врадин В.В. 2004.** Пат. 66658А Украина, МКВ А01D17/04. Картофелеуборочная машина с барабанным сепаратором. – № 2003087897; заявл. 21.08. 03; опубл. 17.05. 04, Бюл. № 5. – 4. (Украина).
11. **Грушецкий С.Н., Рудман О.И., Беженар О.В. 2011.** Пат. № 61800 Украина, МПК (2011.01) А01D 17/00. Лемешно-отвальный рабочий орган картофелеуборочной машины – № u 2011 01248; заявл. 04.02. 2011; опубл. 25.07. 2011, Бюл. № 14, 4. (Украина).
12. **Лурье А.Б., Громбчевский А.А. 1977.** Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л. : Машиностроение, 528.
13. **Гячев Л.В. 1961.** Теория лемешно-отвальной поверхности. – В кн.: Труды института. Вып. 13. Зерноград, (Азово-Черноморский институт механизации сельского хозяйства).
14. **Беляев Н.М. 1954.** Соппротивление материалов. – М., Гостехиздат.
15. **Грушецкий С.Н., Андреев А.А. 2003.** Анализ работы конусного сепаратора. Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерные исследования. Львов: Астра-Друк-Сервис, № 7, 112-117. (Украина).
16. **Грушецкий С.Н., Бендера И.Н. 2003.** Кинематический анализ работы конусного сепаратора. Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Вып. 14. – Мелитополь: ТДАТУ, 73-79. (Украина).
17. **Грушецкий С.Н., Андреев А.А. 2003.** Динамика картофельной почвенной смеси в барабанном сепараторе Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства [“Механизация сельскохозяйственного производства”]. – Вып. 20. – Харьков: ХГТУСХ, 207-218. (Украина).
18. **Грушецкий С.Н., Бендера И.Н. 2004.** Тенденции развития сепарирующих устройств картофелеуборочных машин. Сб. науч. работ ПДАТУ. – Каменец-Подольский: Азбука – № 12, 227-230. (Украина).
19. **Hrushetskiy S.N., Bendera I.N. 2007.** A design of sifting of soil in drum separator. Modern materials and technologies in machine building and exploitation: materials III International scientific conf., 6-8.09. 2007. Kamieniec Podolski – Ukraine: Announcer of the Khmelnytsky national university: Engineering sciences, – № 5, 128-132.
20. **Бендера И.Н., Грушецкий С.М. 2012.** Обоснование конструкции и параметров лемешно-отвально-го картофелекопателя с барабанным сепаратором картофельного вороха / Известия Международной академии аграрного образования. – № 14’ 2012 (3), Том 1 – Санкт-Петербург, 81-93.
21. **Elena Luzan. 2012.** Obosnovanie parametrov zadelyvajushgo rabocheho organa dlja pramogo poseva zernovyh kultur / Elena Luzan, Vasilij Salo, Petr Luzan, Sergej Leshenko // MOTROL. Motoryzacija i Energetyka Rolnictwa. – LUBLIN – Vol. 14 – №1. – 168-173.
22. **Василь Смильский, Александр Сидорчук. 2014.** Повышение эффективности работы лемешных плугов путем регулирования ширины захвата корпусов. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture-2014. Vol.16. No.4. 72-76.

RESEARCH AND RATIONALE PARAMETERS OF
PLOWSHARE-TURN POTATO-DIGGER WITH THE
DRUM SEPARATOR OF POTATO LOTS

Summary. The article focuses on reducing the mechanical damage the tubers, while ensuring high-quality performance of the separation process by potato heap of design and optimization of parameters and modes of operation-plowshare potato digger dump with a drum separator. The analysis of the existing structural and technological schemes of potato harvesters, the analysis of structures and the results of experimental and theoretical studies Undermining working bodies, ways of enhancing separation and the effects on the working bodies of the potato pile, which showed that the imperfections of the existing potato harvesting is primarily in the low-reliability performance process under the abnormal condition of cleaning of its allowable value. Therefore, an important task is drafting a potato harvester with a separating device, which would allow to vary the degree of its impact on the potato pile, thereby adapting to the particular conditions of cleaning. The phenomenon of separation theory, and mathematical models of the motion of the body on the surface of the moldboard plow, and the separator and the separation process of the three-potato lots. Theoretical and experimental dependences of the influence of structural and kinematic parameters of the machine and a separator for quality performance. An algorithm for calculating the process potato digger. Experimentally determined empirical coefficients of a mathematical model for medium loam. The technique of studies made test specimen laboratory unit for studying the drum separator rational separation process parameters, which are set on the basis of rational parameters and modes of operation of the separator drum and its drive power. Made Field installation for research on potato digger overall separation efficiency, the degree of damage, the amount of losses and a total capacity for aggregation. A economic evaluation of the effectiveness of using a potato digger drum separator. The calculations show that the use in developed potato digger potato harvester will improve the performance of their work, as well as reduce the extent of damage of potatoes.

Key words: plow-dumping potato, drum separator, potato pile, the process of separation, optimization, capacity for aggregation.

