

УДК 631.362

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФРАКЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ

*Козаченко О.В. Дзюба О.А. (Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко)*

Приведены результаты исследований технических средств для послеуборочной обработки картофеля, обоснованы оптимальные параметры предложенного устройства для сортирования клубней на фракции.

Введение

Одной из важных технологических операций в производстве картофеля является послеуборочная сепарация вороха на фракции, особую важность которой представляет необходимость отбора семенного материала, обеспечивающего качественную работу картофелесажалок и, как следствие, повышение урожайности культуры.

Теоретические и экспериментальные исследования сепарации картофеля на фракции довольно полно изложены в работах Г.Д. Петрова, М.М. Колчина, Ю.И. Зиновьева и др. [1,2]. Анализ устройств для сортирования клубней картофеля указывает на значительное разнообразие их конструкций.

Основными недостатками существующих устройств можно считать сравнительно низкое качество сепарации и травмирование клубней картофеля, что особенно важно при получении посадочного материала.

Сортирование семенного картофеля на серийных роликовых и ременных картофелесортировочных машинах общего назначения обеспечивает качественный показатель на уровне 55-60%, что не удовлетворяет агротехническим требованиям [3].

Основная часть

На основании анализа существующих конструкций сепарирующих устройств, схем компоновки элементов рабочих органов нами проведены теоретические и экспериментальные исследования в направлении повышения качества сепарации картофельного вороха при уменьшении травмирования клубней картофеля, что очень важно для хранения как продовольственного, так и семенного материала.

За основу принято использование рабочих элементов в виде конических направляющих, которые расположены наклонно к горизонту и имеют рабочую поверхность в виде спирали. При этом подача и движение картофеля совпадает с осью рабочих элементов, и распределение выполняется по размерным характеристикам клубней (рис. 1).

Конструктивно-технологическая схема винтового устройства для фракционного распределения клубней картофеля включает подающий транспортер 1, скатный лоток 2, рабочую сепарирующую поверхность в виде V -образно установленных направляющих 3, винтовую спираль 4 и приемники 5 [5-7].

Технологический процесс сепарирующего устройства включает подачу клубней транспортером 1 на рабочую поверхность 2, которая представляет собой V -образную поверхность в виде направляющих, установленных под углом α к горизонту. Вращающаяся спираль 4 перемещает клубни вдоль направляющих 3. При этом в зависимости от размеров клубней они поступают к соответствующий приемник 5.

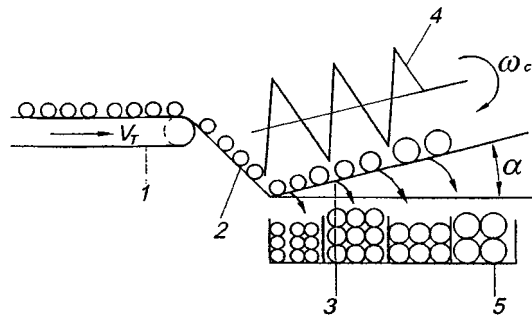


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема винтового устройства для фракционного распределения картофеля:

1- подающий транспортер; 2- скатный лоток; 3– рабочая поверхность в виде V - образно установленных направляющих; 4- винтовая спираль; 5- приемники.

При создании математической модели движения клубней по рабочему органу устройства были приняты следующие допущения: клубень является шаром с радиусом R_K и массой m_K ; перемещение по направляющим выполняется без скольжения; сопротивление качению не учитывается.

Основными параметрами, которые обуславливают перемещение клубней по рабочим поверхностям устройства, приняты (рис. 2): угол подъема спирали γ ; угол установления винтового устройства к горизонту α ; угол раствора направляющих β ; угол между осями V образных направляющих и винтовой спирали ψ ; скорость вращения винтовой спирали ω_C ; скорость подающего транспортера ω_T .

При перемещении клубня по направляющим на него действует сила N_C , которая обеспечивает поступательное движение, реакции направляющих N_{K1} и N_{K2} , силы трения скольжения F_K и качения - F_{K1} и F_{K2} . На основе общих уравнений динамики составлены дифференциальные уравнения движения центра тяжести клубня O_1 в проекциях на координатные оси и при вращении его вокруг оси y на угол θ :

$$\begin{cases} m_K \ddot{X} = N_C \cos \gamma - G_K \sin \alpha + N_{K1} \sin \beta_1 \sin(\psi + \beta) - N_{K2} \sin \beta_1 \sin(\psi - \beta) - \\ \quad - F_{K1} \cos(\psi + \beta) - F_{K2} \cos(\psi - \beta); \\ m_K \ddot{Y} = N_C \sin \gamma - N_{K1} \sin \beta_1 \cos(\psi + \beta) + N_{K2} \sin \beta_1 \cos(\psi - \beta) - F_{K1} \sin(\psi + \beta) - \\ \quad - F_{K2} \sin(\psi - \beta); \\ m_K \ddot{Z} = N_{K1} \cos \beta_1 + N_{K2} \cos \beta_1 - G_K \cos \alpha - F_C \sin \gamma; \\ \frac{2}{5} m_K R_K^2 \ddot{\Theta}_y = F_{K1} Z \cos \beta + F_{K2} Z \cos \beta - F_C R_K \cos \gamma. \end{cases} \quad (1)$$

При решении полученных дифференциальных уравнений (1) нужно иметь в виду, что координата центра силы тяжести клубня Z не является постоянной, а зависит от координаты X и связаны между собой следующим соотношением:

$$Z = \sqrt{R_K^2 - X^2 \sin^2 \beta_1}. \quad (2)$$

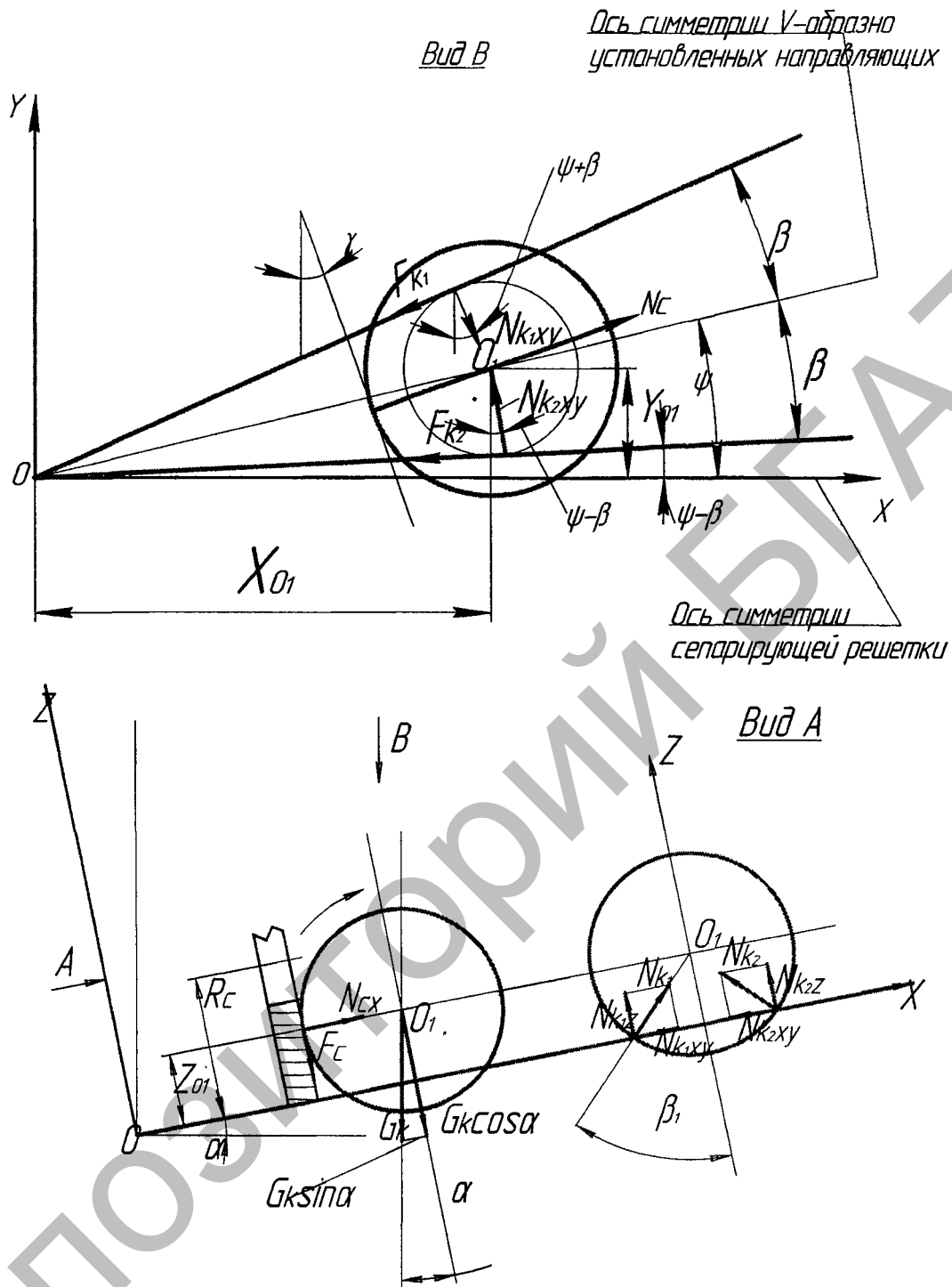


Рисунок 2 – Расчетная схема винтового устройства

Теоретическая задача состоит в определении условий устойчивого движения клубня по оси симметрии направляющих и значений скоростей в направлении координат X и Z .

На первом этапе рассмотрено движение клубня по параллельно расположенным направляющим, когда параметр $\beta=0$. Для этого случая координата $Z_{01} = const$. После преобразований первого и четвертого уравнений системы (1) определена сила N_{CX} , которая определяет поступательное движение клубня по направляющим:

$$N_{CX} = DG_K \sin \alpha, \quad (3)$$

где обозначено:

$$D = \frac{10 \cos^2 \beta_1 + 3}{10 \cos^2 \beta_1 - 5 f_K \cos \beta_1 + 2}.$$

Учитывая угол подъема винтовой спирали, получим составляющую N_{cy} , которая обеспечивает движение клубня вдоль оси X:

$$N_{cy} = N_{CX} \operatorname{tg} \gamma. \quad (4)$$

При смещении оси симметрии направляющих на угол Ψ сила, которая обеспечивает устойчивое движение клубня по этой оси, рассчитывается по формуле:

$$N'_{cy} = N_{CX} \operatorname{tg}(\gamma - \psi). \quad (5)$$

Под действием витков спирали (сила N'_{cy}) клубню передается ударный импульс и он приобретает угловую скорость ω_{02} :

$$\omega_{02} = \frac{\omega_G (R_C - R_K \cos \beta_1) \varepsilon}{R_K \cos \beta_1}, \quad (6)$$

где ε - коэффициент восстановления скорости при ударе.

Из условий изменения кинетической энергии получим:

$$-\frac{I_{K02} \omega_{02}^2}{2} = -G_K (R_C - R_K \cos \beta_1) + N'_{cy} R_K \sin \beta_1, \quad (7)$$

где I_{K02} - момент инерции относительно оси, которая проходит через точку O_2 . (рис. 3).

Из (6) и (7) с учетом (3) и (5) вытекают условия движения клубня вдоль оси симметрии направляющих без вращения.

$$\omega_C \leq \frac{\cos \beta_1}{\varepsilon (R_C - R_K \cos \beta_1)} \sqrt{\frac{10 g R_K}{7} [1 - \cos \beta_1 - D \sin \alpha \sin \beta_1 \operatorname{tg}(\gamma - \psi)]}. \quad (8)$$

Исследование (8) указывает на наиболее весомое влияние на процесс углов $\gamma - \psi$, β_1 и ε . Зависимость угловой скорости от коэффициента восстановления ε (рис. 4) указывает на целесообразность исследования показателя ω_C в интервале $2 - 6 \text{ с}^{-1}$.

Скорость клубня \dot{X} в направлении оси X определяется по формуле:

$$\dot{X} = (R_C - Z) \omega_C \operatorname{tg} \gamma. \quad (9)$$

Максимальное значение \dot{X} будет при $Z = 0$, т.е. в момент выхода клубня из рабочей поверхности направляющих к ячейкам пробоотборника.

Скорость клубня \dot{Z} в направлении оси Z определить сложно с учетом (2) и (9). Задача решена следующим образом. Упрощая (2) путем разложения в ряд Макларена и подставляя в (9) получено:

$$Z \approx R_K - \frac{X^2 \sin^2 \beta}{R_K}. \quad (10)$$

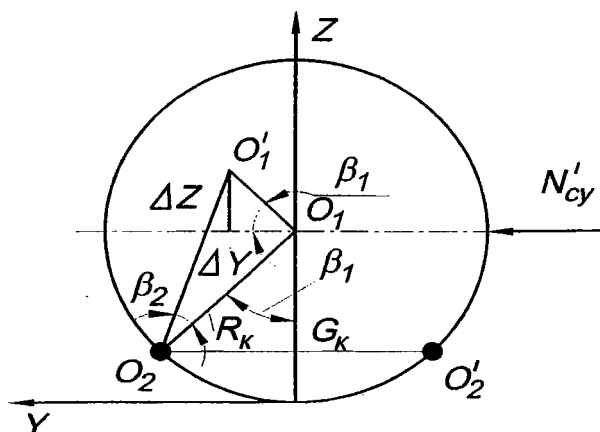


Рисунок 3 – Схема поворота клубня вокруг точки контакта с направляющей

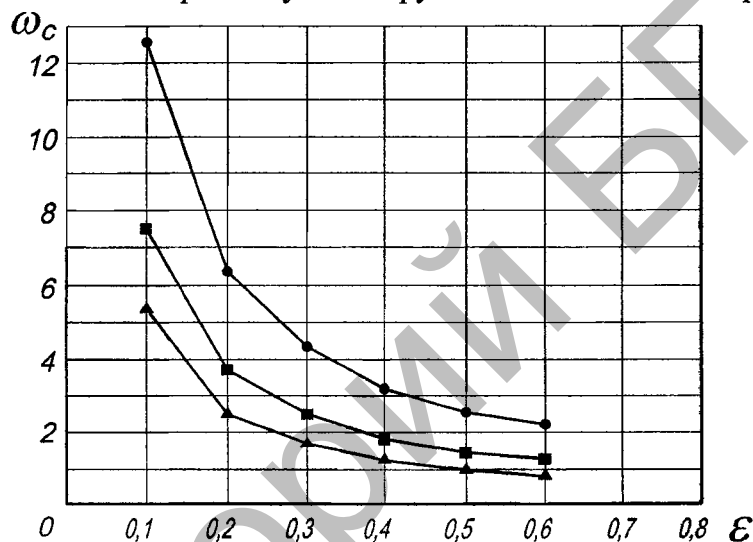


Рисунок 4 – Зависимость угловой скорости ω_c от коэффициента восстановления ϵ при

значениях параметров: $R_K = 0,05$ м; $R_C = 0,25$ м; $\alpha = 9^\circ$; $F_K = 0,5$ для случаев:

- $-\beta_1 = 30^\circ$; $\gamma-\psi = 6^\circ$; ■ $-\beta_1 = 15^\circ$; $\gamma-\psi = 12^\circ$; ▲ $-\beta_1 = 15^\circ$; $\gamma-\psi = 18^\circ$.

После интегрирования (9) и преобразования получено значение X :

$$X = \frac{\sqrt{R_K(R_C - R_K)}}{\sin \beta} \operatorname{tg} \frac{\omega_c t \sin \beta \operatorname{tg} \gamma \sqrt{R_K(R_C - R_K)}}{R_K}, \quad (11)$$

из которого определено время t - перемещения клубня по направляющим и его максимальное значение при $X = X_{max} = R_K / \sin \beta$:

$$t_{max} = \frac{R_K \operatorname{argtg} \sqrt{R_K / R_C - R_K}}{\sin \beta \omega_c \operatorname{tg} \gamma \sqrt{(R_C - R_K) R_K}}. \quad (12)$$

С (10) с учетом (11) получено:

$$Z_{max} = -2\omega_c R_C \sin \beta \operatorname{tg} \gamma. \quad (13)$$

На следующем этапе рассмотрено перемещение клубня и момента выхода из направляющих и поступлении в соответствующий приемник с начальными условиями, которые вытекают из уравнения (9) при $Z = 0$ и (12) при $X_{max} = R_K / \sin \beta$. Схема

движения клубня к приемнику рассмотрена на рис. 5. В системе координат $Z_1 - X_1$ определена координата X_{1i} установки перегородки приемника, что обеспечивает получение i -той фракции продукта сортирования:

$$X_{1i} = X_{max1} \cos \alpha + \dot{X}_{max} t_{Z1} \sin \alpha + \dot{Z}_{max} t_{Z1} \cos \alpha, \quad (14)$$

где t_{Z1} – время движения клубня к моменту $Z_1 = K$, определяется из квадратичного уравнения:

$$t_{Z1}^2 + 2at - b = 0, \quad (15)$$

где:

$$a = \frac{-\dot{X}_{max} \sin \alpha + \dot{Z}_{max} \cos \alpha}{g}; \quad b = \frac{2K}{g}.$$

Программой экспериментальных исследований предусматривалось следующее: определить коэффициент восстановления клубней при ударе, установить качество сепарации картофеля на фракции в зависимости от параметров устройства и определить их рациональные значения, разработать опытный образец устройства и провести его исследования.

Определение коэффициента восстановления выполнено по известным методикам с использованием скоростной фотосъемки для измерения высоты отскока клубней.

На основе теоретического анализа процесса движения клубней и предыдущих экспериментальных данных определены наиболее значимые факторы: X_1 – частота вращения винтовой спирали, об/мин.; X_2 – угол установки направляющих α , град.; X_3 – угол между осями симметрии винтовой спирали и V -образно установленных направляющих ψ , град.; X_4 – частота вращения подающего транспортера, об/мин.

Качество разделения клубней на фракции оценивалась по аналогии с определением надежности системы [4] коэффициентом сепарации K_C

$$K_C = \frac{n_{11} + n_{22} + n_{33} + n_{44}}{N}, \quad (16)$$

где n_{11} ; n_{22} ; n_{33} ; n_{44} – количество клубней, поступивших в соответствующий приемник;

N – общее количество клубней в приемниках:

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4, \quad (17)$$

где n_1 ; n_2 ; n_3 ; n_4 – количество клубней соответствующей фракции.

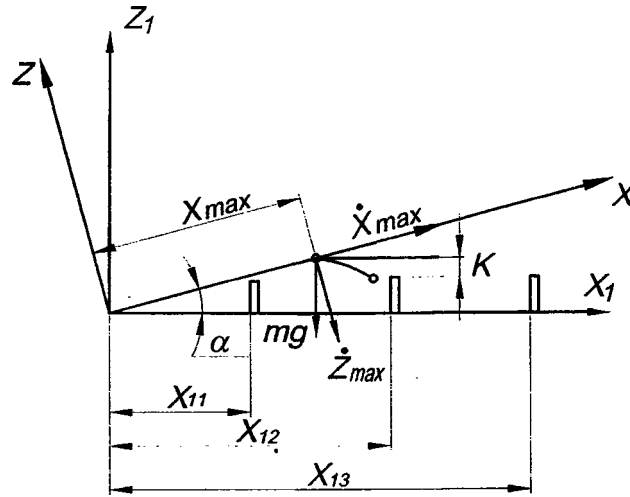


Рисунок 5 – Схема перемещения клубня к ячейкам приемника.

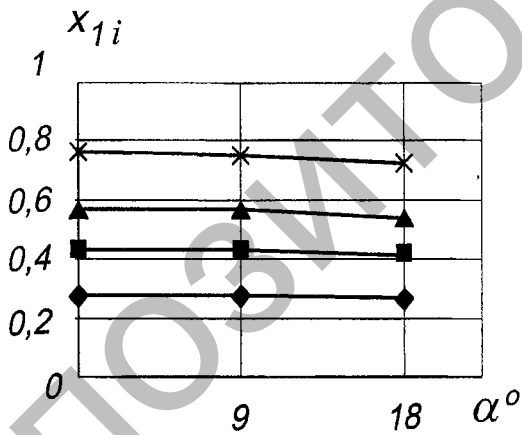
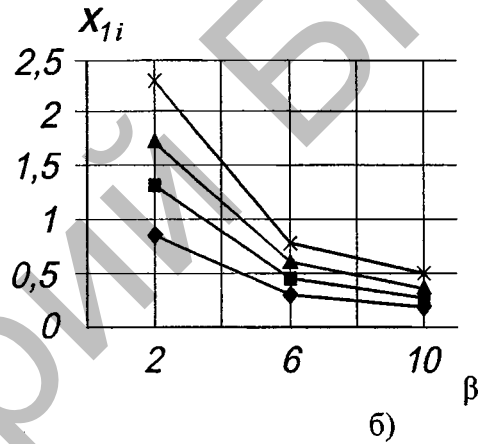
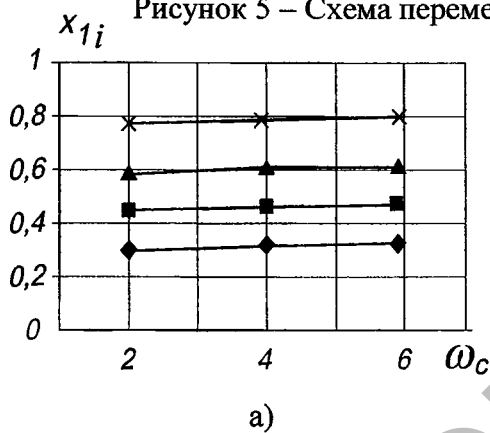


Рисунок 6 – Зависимости координаты X_1 от размера фракции ($\blacklozenge = 0,03$ м; $\blacksquare = 0,45$ м; $\blacktriangle = 0,06$ м; $\times = 0,08$ м) и параметров устройства: а) - ω_c ($\alpha = 9^\circ$ $\beta = 6^\circ$); б) - β ($\alpha = 9^\circ$; $\omega_c = 4^{1/с}$); в) - α ($\omega_c = 4^{1/с}$; $\beta = 6^\circ$).

В связи с тем, что зависимость коэффициента сепарации от параметров имеет нелинейный характер, испытания проводили по схеме однофакторного эксперимента, увеличив с 3 до 5 значений факторов при пятикратной повторности опытов. Полученные данные, обработанные методом наименьших квадратов и представлены в таблице 1, из которых определены рациональные параметры устройства для фракционного распределения клубней картофеля.

Таблица 1. Зависимость коэффициента сепарации от параметров устройства.

Факторы	Формулы зависимости K_C	Рациональные параметры	
		X_I	K_{Cmax}
X_1	$-0,00124 X_1^2 + 0,099 X_1 - 1,102$	39,9 об/мин.	0,87
X_2	$-0,0087 X_2 + 0,9412$	8,6°	0,87
X_3	$-0,0017 X_3^2 + 0,0157 X_3 + 0,7932$	4,6°	0,83
X_4	$-0,000183 X_4^2 + 0,0263 X_4 - 0,0737$	71,8 об/мин.	0,87

Заключение

Анализ полученных экспериментальных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Предложенную конструкцию устройства целесообразно использовать для сепарации картофельного вороха на фракции.

2. Получены рациональные значения параметров процесса сепарации предложенного устройства: частота вращения винтовой спирали $\omega_c = 40$ об/мин.; угол между осями симметрии направляющих и винтовой спирали $\varphi = 5^\circ$; частота вращения подающего транспортера $\omega_r = 72$ об/мин.; угол установки направляющих и винтовой спирали к горизонту $\alpha = 9^\circ$.

Литература

- Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. - М.: Машиностроение, 1984,- 317 с.
- Колчин Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей.- М.: Машиностроение, 1982.- 265 с.
- Колчин Н.Н., Трусков В.П. Машины для сортирования и послеуборочной обработки картофеля М.: «Машиностроение», 1966 - 254 с.
- Гнеденко В.Г., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Из-Во «Наука» М., 1965, 524 с.
- Дзюба О.А. Аналіз пристроїв для післязбирального сортування картоплі //Весник Харьковського державного політехнічного університету. – 2000.- Выпуск № 123.- С.99-106
- Дзюба О.А. Експериментальна установка для випробування пристрою для сортування картоплі на фракції //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2001. – Вип. 8, Т.2, с.165-169.
- Патент № 65647 Україна, В07В1/16, В07В1/20 Гвинтовий класифікатор / Дзюба О.А., Дзюба А.І., Козаченко О.В.- № 27141/UA, Заявлено 14.07.2001, Опубл. 15.04.2004, Бюл. №4, 2004 р.

УДК 636.2:631.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ГИДРОСТАБИЛИЗИРОВАННОГО ПУЛЬСАТОРА

Ужик В.Ф., Чигрин А.А. Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко

Приведены результаты исследования влияния, ряда физических факторов на режимные параметры работы гидростабилизированного пульсатора доильного аппарата.