

ОБОСНОВАНИЕ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

JUSTIFICATION OF A NEW TECHNICAL SOLUTION FOR THE DEVELOPMENT OF POTATO HARVESTING MACHINES

С.С. АЛАТЫРЕВ, д.т.н.

И.С. КРУЧИНКИНА, к.т.н.

А.С. АЛАТЫРЕВ, к.т.н.

Чувашская государственная сельскохозяйственная
академия, Чебоксары, Россия, S_Alatyrev1955@mail.ru

S.S. ALATYREV, DSc in Engineering

I.S. KRUCHINKINA, PhD in Engineering

A.S. ALATYREV, PhD in Engineering

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia,
S_Alatyrev1955@mail.ru

Используемые в настоящее время картофелеуборочные машины с прутковым и грохотным просеивающими устройствами, основанные на интенсивном ударном воздействии на пласт почвы, существенно травмируют клубни картофеля в процессе отделения от почвы. К тому же элементы конструкции, работающие в абразивной среде без смазки, интенсивно изнашиваются, склонны залипанию растительными остатками. В этой связи предложена и обоснована теоретически конструктивно-технологическая схема новой картофелеуборочной машины, которая содержит раму с опорными колесами, решето, состоящее из продольных прутков, кинематически связанных задней частью приводным валом посредством эксцентриковых цапф, которые расположены в противофазе относительно друг друга, установлены передней частью с направляющей на оси с роликами и закреплены жестко через один к лемехам, а также из битеров, расположенных в прорезях между прутками. В работе анализирован кинематический режим работы машины. В результате установлено, что пласт почвы на сепарирующих прутках циклически подвергается изгибу, сжатию и растяжению. Это способствует интенсивному его крошению и просеиванию между прутками. Для более эффективного функционирования машины рекомендовано принять угловую скорость вращения эксцентрикового вала сепарирующего устройства $\omega_1 = 10...15 \text{ c}^{-1}$.

Ключевые слова: картофелеуборочная машина, обоснование пруткового просеивающего устройства с приводом от эксцентрикового вала.

Currently used potato harvesters with bar and screening screening devices, based on intense impact on the soil layer, significantly injure the potato tubers in the process of separation from the soil. In addition, structural elements operating in an abrasive environment without lubrication wear out intensively, prone to sticking to plant residues. In this regard, proposed and justified theoretically constructive-technological scheme of the new potato harvester, containing a frame with support wheels, a sieve consisting of longitudinal bars, kinematically connected by a rear part by a drive shaft by means of eccentric pins, located in antiphase with respect to each other, mounted by the front part with the guide on the axis with rollers and fixed rigidly through one to the shares, as well as from the beaters located in the slots between the rods. The paper analyzes the kinematic mode of the machine. As a result, it was established that the layer of soil on the separating rods is cyclically subjected to bending, compression and stretching. This contributes to its intensive crumbling and screening between the rods. For more efficient operation of the machine, it is recommended to adopt the angular velocity of rotation of the eccentric shaft of the separating device $\omega_1 = 10...15 \text{ s}^{-1}$.

Keywords: potato harvesting machine, justification of the bar screening device driven by an ec-centric shaft.

Введение

В настоящее время широко практикуется применение картофелеуборочных машин с прутковым и грохотным просеивающими устройствами. В них клубни картофеля отделяются от почвенной массы путем интенсивного ударного воздействия на пласт и просеивания почвы между прутками решета, существенно травмирует клубни [1, 2]. Кроме того, прутковые просеивающие устройства, выполненные на цепных тяговых контурах, не долговечны, так как шарниры, работающие в абразивной среде в отсутствии смазки, интенсивно изнашиваются. В этом отношении грохотные картофелеуборочные машины более долговечны. Однако в них решето подвержено залипанию растительными остатками и почвой, особенно при повышенной влажности последней.

Цель исследований

Научное обоснование нового технического решения к разработке перспективных картофелеуборочных машин.

Материалы и методы

В рамках поставленной цели нами предложена [3] конструктивно-технологическая схема новой машины (рис. 1).

Машина содержит раму 1 с опорными колесами 2, решето, состоящее из продольных прутков 3, кинематически связанных задней частью приводным валом 4 посредством эксцентричных цапф 5, которые расположены в противофазе относительно друг друга, установлены передней частью с направляющей на оси 6 с роликами 7 и закреплены жестко через один к лемехам 8.

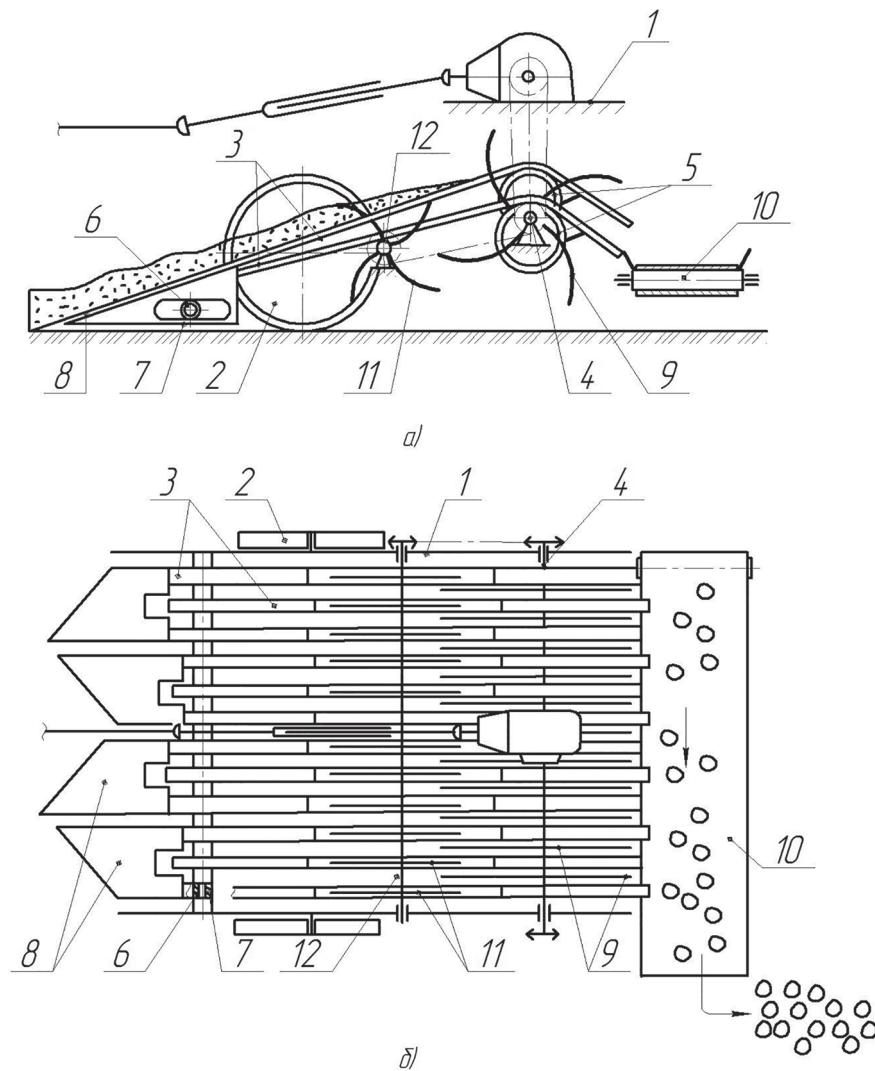


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема новой картофелеуборочной машины:
а – вид сбоку; б – вид сверху

В зазоре между прутками 3 на приводном валу 4 также установлены жестко битера 9 с загнутыми назад лопастями.

Кроме того, задние части прутков, находящиеся за приводным валом 4, отогнуты вниз на угол, равный углу скатывания клубней картофеля, и свисают над транспортером 10.

В средней части прутки также имеют продольные прорези. В них размещены битера 11 с загнутыми вперед лопастями. Они собраны в единый блок на оси 12, получающей вращение от приводного вала 4 цепной передачей.

Предлагаемое устройство имеет следующий принцип работы.

При движении машины вдоль рядков колеблющиеся лемехи 8, получающие движение вместе с прутками 3 от приводного вала 4, срезают пласт клубнями картофеля. При этом срез пласта происходит при совместном действии двух соседних лемехов 8, лезвия которых совершают возвратно-поступательные движения в плоскости, параллельной поверхности земли, под слоем клубней. Причем один из лемехов 8, движущийся против потока (по нижней части траектории), имеющий меньший угол α_1 наклона к горизонту, врезается в почву, а другой, движущийся в направлении потока (по верхней части траектории), в это время раскрывает стык между пластом и дном борозды, отгибая пласт вперед в продольно-вертикальной плоскости на угол α_2 , больший угла α_1 (рис. 2). Тем самым пласт сре-

зается при меньшем угле лемеха к горизонту, при меньшем давлении (силе трения F_1) на рабочей поверхности, следовательно, при меньшем тяговом сопротивлении машины.

Срезанный пласт под действием силы подпора со стороны недеформированной почвы и под действием рабочей поверхности лемеха 8 и поверхностей прутков 3, отходящих назад по верхней части траектории возвратно-круговых движений, скользит к задней части машины.

В процессе скольжения на рабочей поверхности лемехов 8 и на прутках 3 пласт периодически сгибаются под действием последних и разгибаются под действием собственного веса в продольной и поперечной плоскостях (см. рис. 2), а также испытывает периодическую растягивающую силу со стороны прутков 3 под действием силы трения F_2 и со стороны битеров. В это время машина получает дополнительную толкающую силу (от реакций в опорах приводного вала 4).

В результате указанных деформаций пласт интенсивно разрушается, клубни отделяются, почва просеивается в зазорах между прутками 3.

Далее поток подхватывается сначала битерами 11, а потом битерами 9 и отводится назад (см. рис. 1). При этом остатки почвы полностью просеиваются за счет интенсивного деформирования пласти.

На наклонной задней части прутков клубни картофеля без ботвы скатываются сразу

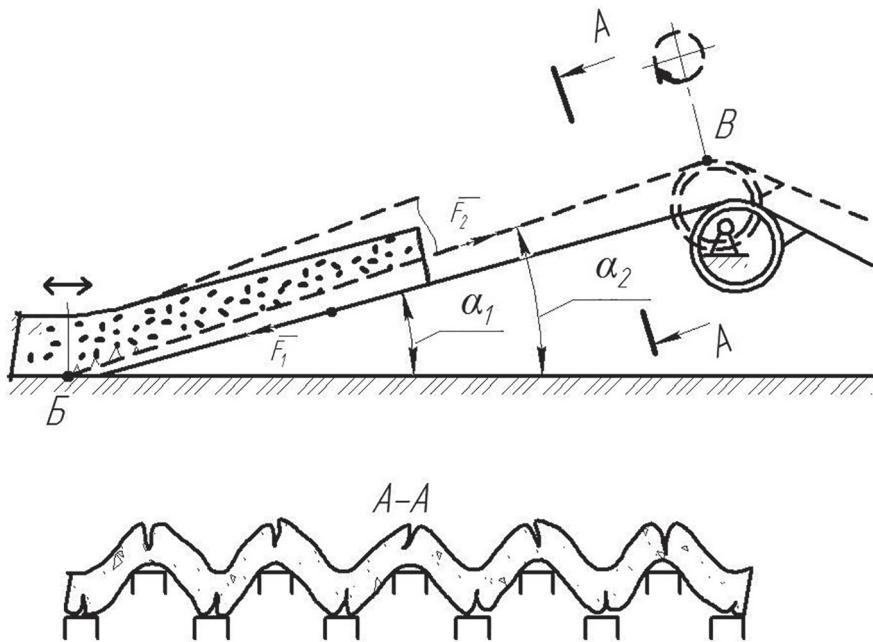


Рис. 2. Схема взаимодействия машины с пластом почвы

на транспортер 10, а клубни с ботвой и остатки растений временно задерживаются на них. Когда лопасти битеров 9 заходят в зазор между прутками 3, затягивают ботву и остатки растений и отделяют от клубней.

Затем клубни после отделения от ботвы также скатываются по изогнутой части прутков 3 на транспортер 10, а остатки ботвы и растительности падают с лопастей битеров на землю. Далее поток клубней укладывается на землю в валок.

Эффективность функционирования данной машины, т.е. интенсивность разрушения пласта и устойчивость транспортирования клубней на решете, существенно зависит от кинематического режима работы машины. Далее более подробнее остановился на этом.

При исследовании кинематики рабочего процесса машины следует заметить, что прутки решета совершают движение, аналогичное движению фиктивной поверхности AB' , так как звено ABB' остается абсолютно жестким за все время движения механизма (рис. 3). К тому же движение фиктивной поверхности AB' можно рассматривать как движение шатуна в фиктивном кривошипно-шатунном механизме $AB'C$.

Исследуем движение в неподвижной, относительно рамы машины, декартовой системе

координат XOY . Для этого механизм представим в промежуточном положении в момент времени t , когда угол поворота эксцентрика, отсчитываемый от горизонтали, составит $\varphi = \omega_1 t$ (здесь ω_1 – угловая скорость эксцентрика).

Уравнение движения точки A лотка при этом имеет вид:

$$x_A = r \cos \omega_1 t + l_{AB'} \cos \beta, \quad (1)$$

где r – эксцентризитет эксцентрика; $l_{AB'}$ – длина фиктивной поверхности AB' ; β – угол между фиктивной поверхностью AB' и горизонталью в данном положении эксцентрика.

В уравнении (1):

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}. \quad (2)$$

Из рис. 3 видно, что:

$$l_{AB'} \sin \beta = e + r \sin \omega_1 t,$$

где e – координата оси вращения эксцентрика на оси OY .

Откуда:

$$\sin \beta = \frac{e + r \sin \omega_1 t}{l_{AB'}}$$

Или, обозначив e/r через k_1 , $r/l_{AB'}$ через λ_1 ,
после преобразований получим:

$$\sin \beta = \lambda_1 (k_1 + \sin \omega_1 t). \quad (3)$$

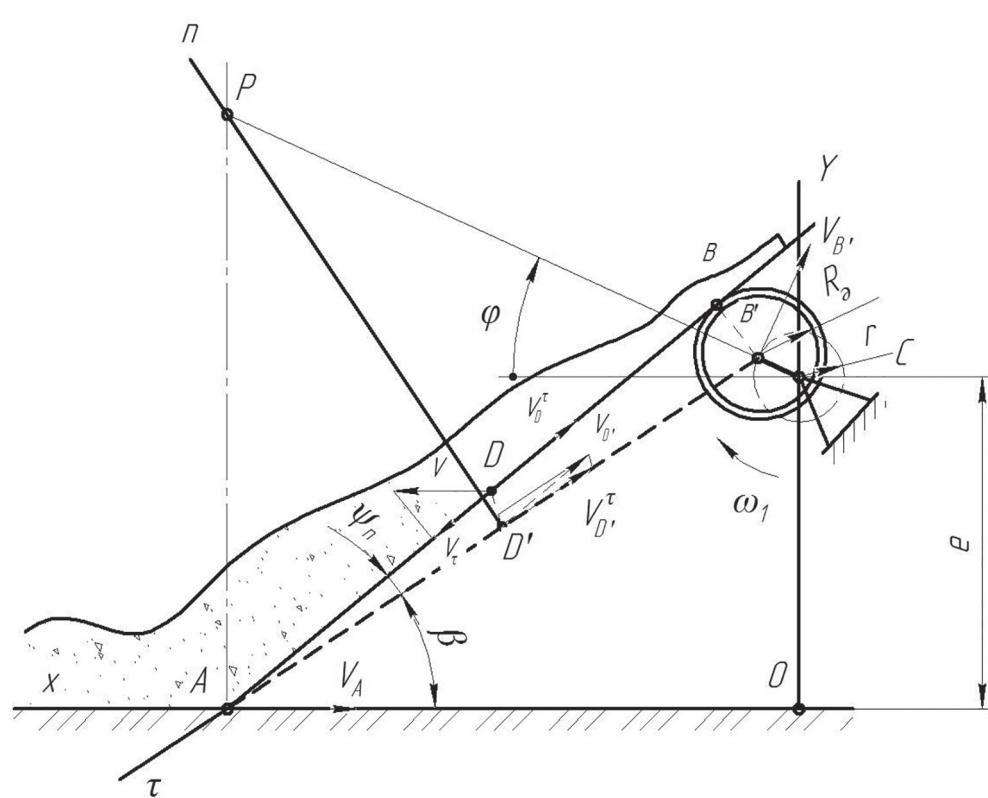


Рис. 3. Схема к исследованию кинематики рабочего процесса машины

Тогда равенство (2) примет вид:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \lambda_1^2 (k_1 + \sin \omega_1 t)^2}.$$

Разлагая в данном выражении правую часть в степенной ряд по биному Ньютона [4] и пренебрегая в нем малыми по величине членами, содержащими λ в степени выше второй, имеем:

$$\cos \beta = 1 - \frac{1}{2} \lambda_1^2 (k_1 + \sin \omega_1 t + \dots). \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в уравнение (1), получим:

$$\begin{aligned} x_A = r & \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{2} \lambda_1 k_1^2 + \cos \omega_1 t - \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} \lambda_1 \sin^2 \omega_1 t - \lambda_1 k_1 \sin \omega_1 t \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Дифференцируя уравнение (5) по времени, находим уравнение скорости точки A прутка:

$$V_A = -r\omega_1 \left(\sin \omega_1 t + \frac{1}{2} \lambda_1 \sin 2\omega_1 t + \lambda_1 k_1 \cos \omega_1 t \right). \quad (6)$$

Скорость точки B' фиктивной поверхности $V_{B'} = r\omega_1$ и направлена перпендикулярно эксцентризитету в сторону вращения эксцентрика.

Проведя в точках A и B' перпендикуляры к векторам \bar{V}_A и $\bar{V}_{B'}$, определим положение мгновенного центра P скоростей фиктивной поверхности прутка. Тогда скорость \bar{V}_D произвольной точки D' фиктивной поверхности в данной момент времени перпендикулярна PD' и будет иметь место равенство:

$$V_{D'}^\tau = V_A \cos \beta,$$

где $V_{D'}^\tau$ – касательная к фиктивной поверхности лотка проекция скорости \bar{V}_D .

Или с учетом выражений (4) и (6) получим:

$$\begin{aligned} V_{D'}^\tau = -r\omega_1 & \left(\sin \omega_1 t + \frac{1}{2} \lambda_1 \sin 2\omega_1 t + \right. \\ & \left. + \lambda_1 k_1 \cos \omega_1 t \right) \left[1 - \frac{1}{2} \lambda_1^2 (k_1 + \sin \omega_1 t)^2 \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

В рассматриваемом устройстве угол между фиктивной и рабочей поверхностями прутка:

$$\psi_n = \operatorname{arctg} \frac{R_d}{l_{AB}}, \quad (8)$$

где l_{AB} – расчетная длина рабочей поверхности прутка, расположенной между точками A и B ; R_d – радиус диска эксцентрика.

Как видно из выражения (8), угол ψ_n является постоянной величиной. Он достаточно мал – не превышает 5° . Поэтому можно счи-

тать характер движения фиктивной и рабочей поверхностей одинаковыми, пренебрегая углом ψ_n . При этом касательную скорость точки D на рабочей поверхности прутка, соответствующей точке D' , найдем в форме (7), т.е. представим в виде:

$$\begin{aligned} V_D^\tau \approx -r\omega_1 & \left(\sin \omega_1 t + \frac{1}{2} \lambda_1 \sin 2\omega_1 t + \lambda_1 k_1 \cos \omega_1 t \right) \times \\ & \times \left[1 - \frac{1}{2} \lambda_1^2 (k_1 + \sin \omega_1 t)^2 \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Результаты и обсуждение

Графики изменения касательной скорости V_D^τ точки D прутка с учетом параметров $r = 20$ мм, $\lambda = 0,05$, $k_1 = 6,5$ показаны на рис. 4 в зависимости от угла поворота $\omega_1 t$ и угловой скорости ω_1 вращения эксцентрика.

Следует заметить, что касательные проекции скоростей всех точек рабочей поверхности прутка равны друг другу согласно теореме о проекциях скоростей тела, совершающего плоскопараллельное движение.

Отсюда вытекает вывод, что рабочая поверхность прутка оказывает действие на пласт в направлении его движения одинаково, а выражение (9) характеризует однозначно кинематическое взаимодействие его с рабочей поверхностью прутка.

При этом следует заметить, что интенсивность разрушения пластина решете будет зависеть в большей степени от соотношения проекции скорости V машины и касательной скорости V_D^τ . Для объяснения сущности этого явления условно разделим весь цикл процесса взаимодействия прутков, расположенных в противофазе относительно друг друга, при конкретной угловой скорости вращения эксцентрикового вала, например при $\omega_1 = 31,4$ с⁻¹ (см. рис. 4) с пластом почвы на пять характерных фаз: $0 < \varphi < \varphi_1$, $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$, $\varphi_2 < \varphi < \varphi_3$, $\varphi_3 < \varphi < \varphi_4$ и $\varphi_4 < \varphi < 2\pi$.

В фазах движения прутков $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$ и $\varphi_3 < \varphi < \varphi_4$ $|V_D^\tau| > |V|$, следовательно пласт под действием силы трения со стороны прутков в рабочем ходе будет растягиваться.

В фазе движения $0 < \varphi < \varphi_1$, $\varphi_2 < \varphi < \varphi_3$ и $\varphi_4 < \varphi < 2\pi$ $|V_D^\tau| < |V|$, поэтому пласт под действием сил трения со стороны прутков будет сжиматься. Такое циклическое действие (сжатие и растяжение) будет способствовать интенсивному разрушению пластина, следовательно лучшему просеиванию почвы в зазорах

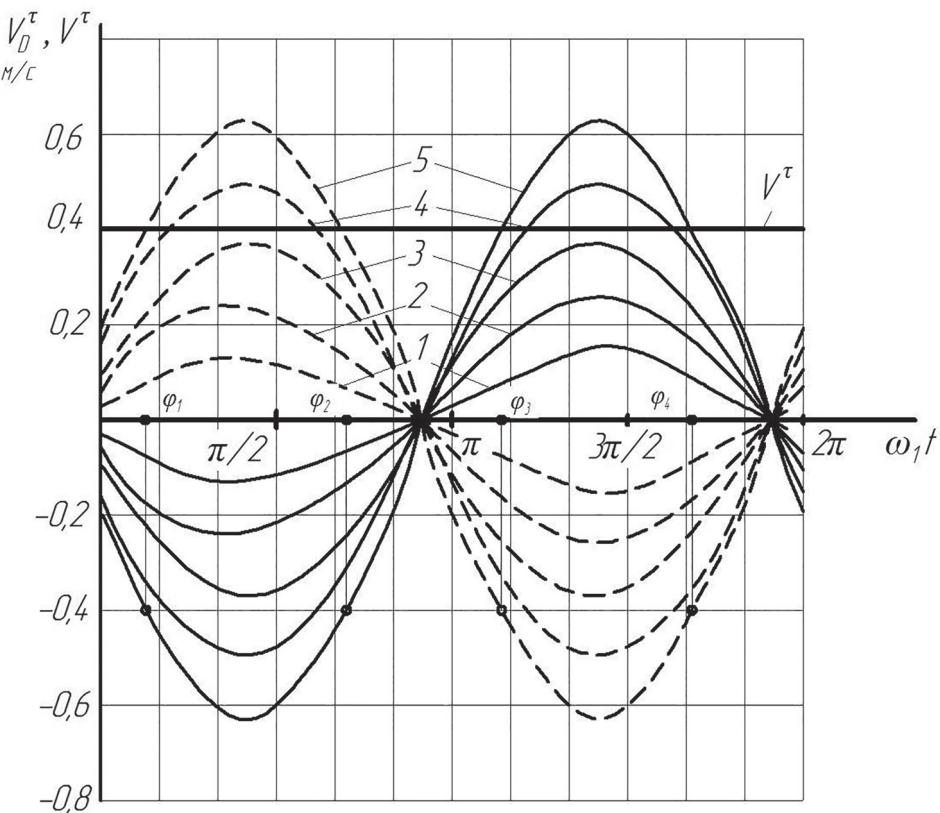


Рис. 4. Графики изменения касательной скорости V_D^τ точки D прутков, расположенных в противофазе относительно друг друга в зависимости от угла поворота эксцентрикового приводного вала в сравнении с проекцией V^τ рабочей скорости машины:
 $1 - \omega_1 = 6,3 \text{ c}^{-1}$; $2 - \omega_1 = 12,6 \text{ c}^{-1}$; $3 - \omega_1 = 18,8 \text{ c}^{-1}$; $4 - \omega_1 = 12,6 \text{ c}^{-1}$; $5 - \omega_1 = 31,4 \text{ c}^{-1}$

между прутками. Причем, как известно из источников [5, 6], почва будет лучше крошиться при растяжении. Поэтому целесообразно выбрать повышенные значения угловой скорости ω_1 вращения эксцентрикового вала, так как при этом большая часть цикла процесса будет соответствовать условию: $|V_D^\tau| > |V^\tau|$. Однако, на наш взгляд, чрезмерное увеличение угловой скорости вращения эксцентрикового вала может привести к механическим повреждениям клубней в процессе взаимодействия с прутками, поэтому рекомендуем ограничиться $\omega_1 = 10...15 \text{ c}^{-1}$.

Выводы

1. Предложено и обосновано теоретически новое техническое решение при разработке картофелеуборочных машин, основанное на применении сепарирующих прутьев, установленных на эксцентриковом валу.

2. В целях обеспечения интенсивного разрушения пласта почвы на прутьях рекомендуется принять угловую скорость вращения эксцентрикового вала $\omega_1 = 10...15 \text{ c}^{-1}$.

Литература

1. Алатырев А.С., Алатырев С.С. Новая машина для уборки картофеля // Молодежь и инновации: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (19–20 апреля 2017 г.). Чебоксары: издательство Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, 2017. С. 169–172.
2. Кудяков В.А., Алатырев С.С. К выбору конструкции устройства для бережной отгрузки продукции применительно для комбайновой уборки картофеля // Молодежь и инновации: материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Чебоксары, 21–22 марта 2018 г.). Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2018. С. 231–234.
3. Алатырев С.С. Машина для уборки корнеклубнеплодов: патент на изобретение RUS № 2246199, Российская Федерация, опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 831 с.

5. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994. 751 с.
6. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Д.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Агропромиздат, 1986. 688 с.

References

1. Alatyrev S.S. New potato harvesting machine // Youth and Innovations: Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students (April 19–20, 2017). Cheboksary: Publisher Chuvash State Agricultural Academy, 2017, pp. 169–172.
2. Kudyakov V.A., Alatyrev S.S. To the choice of the design of the device for the careful shipment of products in relation to combine harvesting pota-
- toes // Youth and innovation: materials XIV Vseros. scientific-practical conf. young scientists, graduate students and students(Cheboksary, March 21–22, 2018). Cheboksary: Chuvash State Agricultural Academy, 2018, pp. 231–234.
3. Alatyrev S.S. The machine for harvesting the root crops: patent for invention RUS № 2246199, Russian Federation. Published 20.02.2005. Bulletin No. 5.
4. Korn G., Korn T. Handbook of mathematics for scientists and engineers. M.: Science. The main editors of physical and mathematical literature, 1984. 831 p.
5. Klenin N.I., Sakun V.A. Agricultural and land reclamation machines. M.: Kolos, 1994. 751 p.
6. Listopad G.E., Demidov G.K., Zonov D.E. Agricultural and land reclamation machines. M: Agropromizdat, 1986. 688 p.