

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОГРУЗЧИКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КАРТОФЕЛЕХРАНИЛИЩАМ

JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODE OF THE LOADER WITH REFERENCE TO POTATO STORAGE FACILITIES

Аббасов Г.И. — доктор философии по технике, доцент

Азербайджанский Государственный Аграрный Университет
Аз 2000, Азербайджанская Республика, г. Гянджа, пр-т Ататюрка, 262
E-mail: qiyasabbasov51@box.az; abbasov.qiyas@bk.ru

Во избежание повреждений отмечается необходимость правильного выбора основных параметров и режимов работы конвейеров с учетом характеристики перемещаемого продукта. Цель установить аналитические зависимости, позволяющие описывать взаимодействие клубней с рабочими органами конвейеров, необходимых так же для расчета параметров гасящих устройств, повышающих режимы работы конвейеров. С целью совершенствования методов расчета режимов работы ленточных конвейеров в статье теоретически анализируется качение-скольжение клубня, аппроксимируемого телом сферической формы, перемещающейся по наклонной плоскости (лопасти) с переменным углом наклона и по криволинейной поверхности (ленте). Полученные аналитические зависимости, описывающие кинематику качения со скольжением клубня, аппроксимируемого телом шарообразной формы, по лопасти и ленте, могут быть использованы для обоснования быстроходных и тихоходных режимов работы и, связанных с ними, параметров ленточных конвейеров, применяемых в картофелехранилищах и на картофелесортировальных пунктах. При обосновании параметров и режимов работы конвейеров с упомянутыми гасящими устройствами следует учитывать относительную скорость и перемещение клубня по лопасти.

Ключевые слова: хранение картофеля, картофелехранилище, погрузчик, конвейер, лопасти, скольжение, относительная скорость.

Введение

В Азербайджане посевные площади картофеля колеблются в пределах 69–70 тыс. га. Ежегодный объем производства составляет около 1077114 т при средней урожайности 153 ц/га [1].

Исследования по комплексной механизации картофелеводства показывают, что наиболее эффективные результаты можно получить, когда высокопроизводительные механизмы, работающие в хранилищах, являются завершающим звеном поточной механизированной уборки. Анализ официальных данных показывает, что только в период 2008–2014 годов при финансовой помощи национального Фонда Помощи бизнесу в республике построены 55 хранилищ для сельскохозяйственных продуктов [2].

Эффективность хранения картофеля в значительной степени зависит от того, насколько полно используются средства механизации при загрузке, выгрузке и товарной обработке клубней в хранилищах. Сжатые сроки загрузки отсортированного картофеля в хранилище — один из путей сокращения потерь при хранении. Затраты труда при хранении и товарной обработке определяют стоимость хранения одной тонны продукции, следовательно, очень важно правильно определить целесообразность применения машин и механизированных линий. В этом случае потери картофеля и затраты на его уборку минимальны. Правильный выбор средств механизации для погрузоч-

Abbasov G.I. — Doctor of Philosophy in Technology, Associate Professor

Azerbaijan State Agrarian University
Az 2000, Republic of Azerbaijan, Ganja, Ataturk Ave., 262
E-mail: qiyasabbasov51@box.az; abbasov.qiyas@bk.ru

To avoid damage, there is a need to select the main parameters and operating modes of the conveyors correctly and take into account the characteristics of the product that is being transported. The goal is to establish analytical relationships that allow describing the interaction of tubers with the working bodies of conveyors, which are also necessary for calculating the parameters of quenching devices that increase the operation of conveyors. In order to improve the methods for calculating the operating modes of belt conveyors, the article theoretically analyzes the rolling-slip of a spherical ball, which is approximated by the body, along a moving inclined plane (blade) with a variable angle of inclination and along a moving curved surface (tape). The obtained analytical dependences describing rolling kinematics with slip of a tuber approximated by a ball-shaped body along the blade and tape can be used to substantiate fast and slow operating modes and associated parameters of belt conveyors used in potato storage and potato sorted points. When the parameters and operating modes of the conveyors with these extinguishing devices have been justified, the relative speed and movement of the tuber along the lobe should be taken into account.

Keywords: storage of potato, potato storage facilities, loader, conveyor, blades, sliding, relative speed.

но-разгрузочных работ и их оптимальный режим работы дает дополнительный экономический эффект.

Ленточные конвейеры сельскохозяйственного назначения, в том числе лопастные, применяемые на загрузке и выгрузке продукции в картофелехранилищах, как правило, работают в быстроходном режиме [3], при котором полюсное расстояние (S) определяется, как отношение ускорения свободного падения (g) на квадрат угловой скорости (ω^2) барабана, и оно меньше радиуса (r_r) барабана конвейера [4].

Однако некоторые конвейеры, например, с большим диаметром мотор-барабана, используемые на переборке картофеля в хранилищах и на сортировальных пунктах, работают в тихоходном режиме ($S > r_r$).

Известно, что скорость ленты при тихоходном режиме работы конвейера с одинаковыми диаметрами барабанов меньше, чем при быстроходном. Хотя и высота сбрасывания картофеля при тихоходном режиме меньше, чем при быстроходном, скорость соударения клубней с поверхностью (насыпью) может быть большей, так как она определяется не только высотой сбрасывания, но и по составляющей абсолютной скорости центра масс клубня, направленной в отличие от варианта с быстроходным режимом в сторону насыпи. Поэтому клубни картофеля при тихоходном режиме работы конвейеров могут повреждаться в большей степени, чем при быстроходном.

Во избежание повреждений продукции надо правильно выбирать основные параметры и режимы работы конвейеров с учетом характеристики перемещаемого продукта.

Цель исследования — установить аналитические зависимости, позволяющие описывать взаимодействие клубней с рабочими органами конвейеров, необходимых также для расчета параметров гасящих устройств [5], повышающих и улучшающих режимы работы конвейеров.

Объект и метод исследования

Известны работы [6, 7, 8], где рассмотрены вопросы, относящиеся к обоснованию скорости ленты конвейеров, перемещающих сыпучие материалы, в том числе клубни картофеля. Однако принятые в них расчетные схемы не учитывают форму и размеры клубня, качение его по лопасти и ленте в момент сбрасывания с конвейера, а также действие силы Кориолиса, в связи с чем оказываются упрощенными.

Клубни картофеля по форме близки к эллипсоиду, а некоторые сорта имеют форму шара. В первом приближении, устанавливая картину качения — скольжения клубней по рабочим органам, наиболее удобно принимать каждый клубень за шар. Получаемые при этом зависимости с достаточной для инженерных расчетов достоверностью определяют движение клубня.

С целью совершенствования методов расчета режимов работы ленточных конвейеров в работе теоретически анализируется качение — скольжение клубня, аппроксимированного телом сферической формы, перемещающейся по наклонной плоскости (лопасти) с переменным углом наклона и по перемещающейся по криволинейной поверхности (ленте).

Для клубней картофеля средние значения углов трения скольжения (ϕ_0) и качения (ϕ_k) по конвейерной ленте могут быть приняты соответственно равными 34° и 17° , а угол, при котором чистое качение клубня переходит в качение со скольжением — 58° .

Лопастные конвейеры обычно наклонены к горизонту под углом до 40° , и лопасти их выполнены из конвейерной ленты. В связи с тем, что угол наклона лопасти во время сгибания лентой барабана изменяется от 50 до 90° , при движении клубня по лопасти может наблюдаться его чистое качение и качение со скольжением.

Можно считать, что движение клубня по лопасти происходит в результате действия силы тяжести $\bar{G}$ нормальной реакции $\bar{R}_n$ лопасти, силы трения $\bar{F}_T$ между клубнем и лопастью, силы инерции в переносном движении и силы Кориолиса F_K (рис. 1).

Уравнения плоского движения клубня по лопасти:

$$m\ddot{x} = \bar{R}_n + F_{\text{ц}} \sin \theta - F_K - G \sin \phi; \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = F_{\text{ц}} \cos \theta - F_T - G \cos \phi; \quad (2)$$

$$J\ddot{\varepsilon} = F_T \frac{d_k}{2} - R_n k, \quad (3)$$

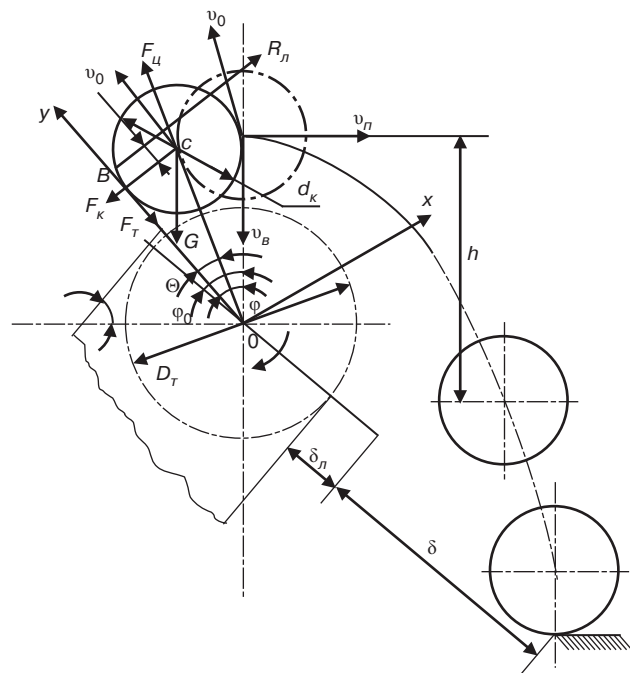
где $\ddot{x}, \ddot{y}$ — проекции ускорения центра масс клубня на подвижные оси координат x и y ; θ — угол, образованный подвижной осью y и радиусом-вектором $r = OC$; ϕ — угол между лопастью и вертикалью; J — момент инерции клубня относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения; ε — угловое ускорение клубня; d_k — диаметр клубня; k — коэффициент трения качения клубня.

Из (1), (2) и (3) получены дифференциальные уравнения движения:

— при чистом качении клубня по лопасти:

$$\ddot{y} + \frac{10}{7} \omega f_1 \dot{y} - \frac{5}{7} \omega^2 y = \frac{5}{14} \omega^2 f_1 d_k - \frac{5}{7} g \cos(\phi_0 - \omega t) - \frac{5}{7} g f_1 \sin(\phi_0 - \omega t) \quad (4)$$

Рис. 1. Расчетная схема движения клубня по лопасти



— при качении клубня по лопасти со скольжением

$$\ddot{y} = \omega^2 y - 2\omega f_2 \dot{y} - g f_2 \sin \phi - g \cos \phi + \omega^2 f_2 \frac{d_k}{2} \quad (5)$$

где f_1, f_2 — тангенсы углов трения качения и скольжения клубней; $\dot{y}$ — скорость центра масс клубня в относительном движении; y — координата центра масс клубня; ϕ_0 — угол наклона конвейера; t — время движения клубня по лопасти.

Выведем зависимости для определения моментов начала сбрасывания клубней с лопастного конвейера:

$$\phi = \phi_0 + \theta, \quad t = 0, \quad \sin(\phi_0 + \theta) = \omega^2 \frac{d_k}{2g}; \quad (6)$$

$$\phi = (\phi_0 - \omega t) > 0, \quad \Delta y = \delta_n - \frac{d_k}{g}; \quad (7)$$

$$\phi = (\phi_0 - \omega t) = 0, \quad \Delta y < \delta_n - \frac{d_k}{g}, \quad (8)$$

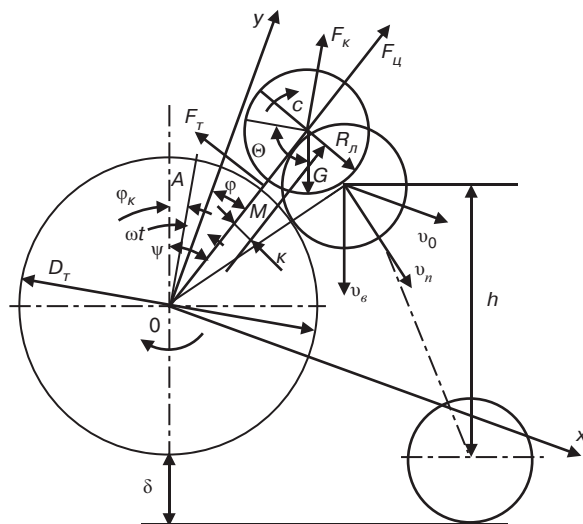
где Δy — перемещение клубня по лопасти; δ_n — высота лопасти.

Результаты и их обсуждение

Анализ вышеприведенных зависимостей показывает, что в случае (6) клубень отрывается от лопасти и ленты в момент набегания ее на барабан. При этом относительная скорость и перемещение клубня по лопасти равны нулю. В случае, описываемым (8), клубень отрывается от ленты в момент набегания ее на барабан, так как режим работы конвейера быстроходный, а отрывается от лопасти вблизи верхней точки барабана при вертикальном положении лопасти, когда реакция последней становится равной нулю. В варианте (7) клубень сбрасывается с конвейера в промежуточном положении между первым и третьим моментами, когда он пройдет весь путь по лопасти.

При набегании ленты с лежащим на ней клубнем на барабан конвейера, работающего в тихоходном режиме, клубень сначала находится в покое, затем сбрасывается или совершает сложное движение, которое складывается из его относительного перемещения по ленте и переносного движения вместе с ней. В связи с тем, что угол наклона ленты во время сгибания ее барабаном конвейера изменяется от 0 до 90° , при движении клубня по ленте в это время в зависимости от скорости последней может наблюдаться чистое качение и качение со скольжением.

Рис. 2. Расчетная схема движения клубня по ленте



Можно считать, что движение клубня по ленте происходит под действием сил G , R_n , F_T , F_c и F_k (рис.2).

Уравнения плоского движения клубня по ленте имеют вид:

$$m\ddot{x} = G \sin(\psi - \phi) + R_n \sin \phi - F_T \cos \phi + m\omega^2 x - 2m\omega \dot{y}; \quad (9)$$

$$m\ddot{y} = G \cos(\psi - \phi) + R_n \cos \phi + F_T \sin \phi + m\omega^2 y - 2m\omega \dot{x}; \quad (10)$$

$$J_z^{(M)} \ddot{\theta} = G \frac{d_k}{2} \sin \psi - R_n k, \quad (11)$$

где ψ — угол между касательной к кривой и горизонтальной плоскостью (угол начала сбрасывания клубня с ленты); ϕ — угол, образованный подвижной осью y и радиусом-вектором os ; $\dot{x}, \dot{y}$ — проекции относительной скорости клубня на подвижные оси координат y и x ; $J_z^{(M)}$ — момент инерции клубня относительно оси z , проходящей через точку M ; θ — угол поворота клубня вокруг оси Z .

Решив совместно (9)–(11) с учетом значений $G, k, J_z^{(M)}, x, y, \theta, \psi$ определяемых общеизвестными формулами, получим:

$$\ddot{\phi} = \frac{10f_1\omega}{5f_1 - 7} \dot{\phi} - \frac{10g}{(5f_1 - 7)(D_T + d_k)} \sin(\phi_k + \phi + \omega t) + \frac{10gf_n}{(5f_1 - 7)(D_T + d_k)} \cos(\phi_k + \phi + \omega t) - \frac{5f_1\omega^2}{5f_1 - 7}. \quad (12)$$

Моменту сбрасывания клубня с конвейера соответствует абсолютная скорость его центра масс, равная

$$\bar{v}_k = \bar{v}_n + \bar{v}_b + \bar{v}_o, \quad (13)$$

где $\bar{v}_n$ — переносная (окружная) скорость клубня, перпендикулярная радиусу-вектору os ; $\bar{v}_b$ — скорость па-

дения клубня, направленная вертикально; $\bar{v}_o$ — относительная скорость клубня.

В избежание повреждения продукции абсолютная скорость центра масс клубня, сброшенного с конвейера в момент соударения с поверхностью (насыпью), не должна превышать значения, допускаемого агротехническими требованиями, то есть

$$v_k \leq \sqrt{2gh_o}, \quad (14)$$

где h_o — допустимая высота свободного падения клубней на клубни ($h_o = 0,4$ м) [9].

Из условия (14) с учетом (13) и известных значений v_n, v_b получены выражения для определения допустимой скорости ленты конвейеров:

– при быстроходном режиме работы

$$|v_T| = D_T \frac{\sqrt{2gh} \sin(\phi - \theta) + v_o \sin \theta}{2\rho} + D_T \times \sqrt{\left[\sqrt{2gh} v_o \sin(\phi - \theta) + v_o \sin \theta \right]^2 - 2gh + v_o^2 + 2\sqrt{2gh} v_o \cos \phi + \frac{2gh_o}{2\rho}}; \quad (15)$$

– при тихоходном режиме работы

$$|v_T| = D_T \times \frac{-(A \cos \phi - B \sin \phi) + \sqrt{(A \cos \phi - B \sin \phi)^2 - A^2 - B^2 + 2gh_o}}{D_T + d_k + D_T},$$

где h — высота падения клубней с конвейера;

$$A = v_{ox} + \sqrt{2gh} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_k - \omega t\right);$$

$$B = v_{oy} - \sqrt{2gh} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi_k - \omega t\right),$$

где v_{ox}, v_{oy} — проекции относительной скорости v_o на оси x и y ; t — время движения клубня по ленте.

Заключение

Уравнения (4), (5), (12) в отличие от известных, учитывают форму и размеры клубней, их перемещение по лопасти и ленте. Чтобы оценить применимость этих уравнений, с их помощью были определены относительная скорость и перемещение клубней по лопасти и углы их сбрасывания с конвейеров при $D_T = 0,16-0,24$ м, $\phi_o = 0-40^\circ$ и $v_T = 0,2-1,0$ м/с, характерных для конвейеров, применяемых в картофелехранилищах и на картофелесортировальных пунктах, и значениях $v_T = 1,0-2,0$ м/с, которые могут обеспечить упомянутые гасящие устройства.

REFERENCES

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://az.wikipedia.org/wiki/kartof>
2. modern.az/articles/9678/1/#gsc.tab=0
3. Комплект оборудования для овощехранилищ // тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2001. — № 5. — С. 43.
4. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в четырех томах / под ред. М.И. Клецкина. — М.: Машиностроение, 1967. — 722 с.
5. Колчин Н.Н. Машины и оборудование для овощехранилищ: состояние и перспективы развития // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2003. — № 1. — С. 45–48.
6. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. — М.: Машиностроение, 1984. — 320 с.
7. Машины для уборки и сортировки картофеля. Метод. указ. / сост.: В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Милованов. — Тамбов: Изд. Тамб. ГТУ, 2001. — 28 с.
8. Туболев С.С., Гербен ван дел Берг. Машины и оборудование для механизации обработки и хранения картофеля // Картофель и овощи. — 2007. — № 6. — С. 2–4.
9. Екимова Л.С. Основные зависимости процесса гравитационной загрузки картофеля бункеров накопителей и их разгрузки: Автореф. дисс. канд. техн. наук. — Л., 1984. — 22 с.

1. <http://az.wikipedia.org/wiki/kartof>
2. modern.az/articles/9678/1/#gsc.tab=0
3. A set of equipment for vegetable stores // tractors and agricultural machinery. — 2001. — № 5. — P. 43.
4. Handbook of the designer of agricultural machines: in four volumes / sub.ed. M.I. Kletschina. — M.: Mechanical Engineering, 1967. — 722 p.
5. Kolchin N.N. Machines and equipment for vegetable stores: the state and prospects of development // Tractors and agricultural machinery. — 2003. — № 1. — P. 45–48.
6. Petrov G.D. Potato harvesters. — Moscow: Mechanical Engineering, 1984. — 320 p.
7. Machines for harvesting and sorting potatoes. Methodical order / composition: V.P. Kapustin, Yu.E. Glazkov, A.V. Milovanov. — Tambov: Izd. Tamb. TGTU, 2001. — 28 p.
8. Tubolev S.S., Gerben van Del Berg. Machines and equipment for mechanization of processing and storage of potatoes // Potatoes and vegetables. — 2007. — № 6. — P. 2–4.
9. Ekimova L.S. The main dependencies of the process of gravitational loading of pots of hoppers of storage tanks and their unloading: Author's abstract. tech. sciences. — L., 1984. — 22 p.