

УДК 631.356.02

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТИТЕЛЯ ГОЛОВОК КОРНЕПЛОДОВ

АДАМЧУК В.В.¹,
академик НААНУ,
докт. техн. наук,

БУЛГАКОВ В.М.²,
академик НААНУ,
докт. техн. наук

¹Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН Украины, ул. Вокзальная, 11, пос. Глеваха, Васильковский район, Киевская обл., 08631, Украина, adamchukvv@mail.ru,

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина, e-mail: vbulgakov@meta.ua

При модернизации свеклоуборочных машин необходима разработка новых конструкций барабанного очистителя головок корнеплода. Показали, что барабанный очиститель, контактируя с головкой корнеплода, очищает ее от ботвы вследствие принудительного вращения барабана вокруг горизонтальной оси и его поступательного движения по головке корнеплода. Установили, что эффективное счесывание остатков ботвы с головки корнеплода без ее повреждения происходит под действием максимально допустимой силы прижима барабана к головке корнеплода в зависимости от силы реакции корнеплода, направленной по нормали по отношению к поверхности головки. Выявлено, что при этом сила реакции корнеплода зависит от допустимого для корнеплода статического напряжения и площади пятна контакта поверхности барабана и корнеплода. Определена необходимая сила контакта барабана с головкой в любой точке контакта для обеспечения процесса счесывания остатков ботвы с головки корнеплода. Предложили дифференциальное уравнение движения барабана при полном обкатывании головки корнеплода. Получены формулы для определения площади пятна контакта, массы барабана и силы прижима пружины, учитывающие неотрывность контакта барабана и корнеплода. Разработали новую математическую модель взаимодействия очистителя барабанного типа с головкой корнеплода в процессе счесывания остатков ботвы. Привели математические зависимости, обосновывающие параметры очистителя.

Ключевые слова: свеклоуборочная машина, головка корнеплода, ботва, копирный ботвосрезающий аппарат.

Процесс очистки головок корнеплодов от остатков ботвы на корню барабанным очистителем осуществляется в результате контакта поверхности барабана с головкой корнеплода. Вследствие принудительного вращения барабана вокруг горизонтальной оси и его поступательного движения по головке корнеплода происходит ее очистка. Сетчатая поверхность барабана, которая счесывает остатки, образована перекрестным размещением металлических прутков определенного диаметра [1-7].

Цель исследований – определение новых математических зависимостей, необходимых при расчете оптимальных параметров барабанного очистителя головок корнеплодов.

Материалы и методы. Считаем, что барабан очистителя радиусом R во время поступательного движения справа налево со скоростью \bar{V}_H и вращения с угловой скоростью ω наезжает на головку корнеплода, который размещен (фактически жестко закреплен) в почве (рис. 1). При этом головка кор-

неплода аппроксимируется полукругом радиусом r , который выступает над уровнем поверхности почвы на высоту h . Центр полукруга головки обозначен точкой O , ось барабана – O_1 .

Для составления дифференциальных уравнений движения барабана принята неподвижная система координат xAy , которая связана с поверхностью почвы. Ее начало находится в точке A , то есть в точке контакта барабана с поверхностью почвы в момент его наезда на головку корнеплода (момент начала контакта барабана с головкой корнеплода в точке K_1). Поверхность почвы принята ровной и недеформируемой. При этом ось Ax направлена горизонтально в сторону поступательного движения очистителя, ось Ay – вертикально вверх.

Подвижная система координат $\bar{x}K_i\bar{y}$ в любой момент времени будет иметь начало в подвижной точке K_i контакта барабана с головкой корнеплода. Ось $K_i\bar{x}$ в каждом рассматриваемом положении барабана направлена по касательной к поверхности го-

ловки корнеплода, ось $K_i\bar{n}$ – по нормали к этой поверхности.

Во время контакта барабана с головкой корнеплода в произвольной ее точке к барабану приложены следующие силы: \bar{G} – вес барабана, \bar{P} – сила прижима пружины, \bar{T} – сила тяги, \bar{F}_B – центробежная сила инерции, \bar{F}_{mp} – сила трения скольжения, \bar{S} – окружное усилие на барабане, \bar{N} – сила реакции со стороны почвы, \bar{N}_K – сила реакции корнеплода, направленная по нормали к поверхности головки.

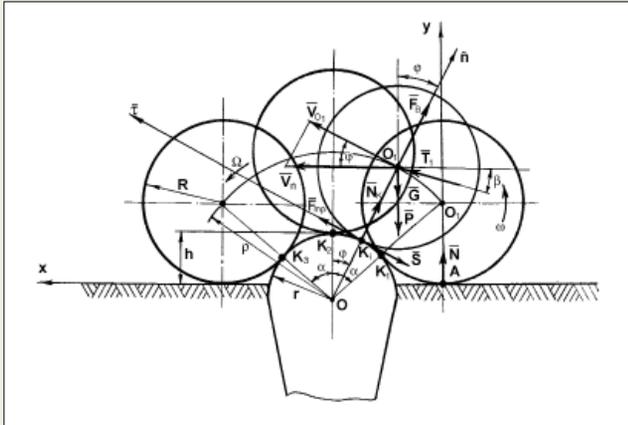


Рис. 1. Эквивалентная схема движения барабана по головке корнеплода

Очевидно, что до первоначального соприкосновения барабана с головкой корнеплода, которое осуществляется в точке контакта K_1 , силы \bar{G} и \bar{P} уравниваются силой реакции \bar{N} со стороны поверхности почвы. Кроме того, до точки контакта K_1 вектор скорости \bar{V}_{O_1} оси O_1 барабана совпадает с вектором скорости \bar{V}_{PI} поступательного движения очистителя, то есть $\bar{V}_{O_1} = \bar{V}_{PI}$.

В произвольной точке K_i контакта барабана с головкой корнеплода вектор \bar{V}_{O_1} будет равен:

$$\bar{V}_{O_1} = \bar{V}_{PI} \cos \varphi,$$

где φ – угол между векторами \bar{V}_{PI} и \bar{V}_{O_1} .

При движении барабана от точки K_1 до точки K_2 угол φ изменяется от α до нуля, а от точки K_2 до точки K_3 – от нуля до минус α . Мгновенно после последней точки контакта K_3 скорость будет равной $\bar{V}_{O_1} = \bar{V}_{PI}$. Траекторией движения оси барабана O_1 от точки K_1 до точки K_3 служит дуга окружности радиусом ρ , причем:

$$\rho = r + R,$$

где $r = OK_1$ – радиус головки корнеплода;

$$R = K_1O_1 \text{ – радиус барабана.}$$

Траекторией движения оси барабана O_1 до и после контакта с головкой корнеплода будет прямая линия.

Центробежная сила инерции \bar{F}_B в произвольной точке контакта K_i равна:

$$F_B = \frac{mV_{O_1}^2}{\rho} = \frac{mV_{PI}^2 \cos^2 \varphi}{\rho}. \quad (1)$$

Соответственно, в точках K_1 и K_3 ее значение будет определяться таким выражением:

$$F_B = \frac{mV_{PI}^2 \cos^2 \alpha}{\rho}. \quad (2)$$

В точке K_2 значение этой силы равно:

$$F_B = F_{B \max} = \frac{mV_{PI}^2}{\rho}. \quad (3)$$

Рассмотрим более подробно начало взаимодействия барабана с головкой корнеплода, для чего составим отдельную силовую схему, которая представлена на рисунке 2.

Поскольку в точке контакта K_1 будет иметь место равенство $\bar{G} + \bar{P} + \bar{N} = 0$, то условие столкновения барабана с головкой корнеплода в точке K_1 в проекции на нормаль \bar{n} , учитывая (2), будет иметь вид:

$$N_1 = [\sigma_d] A_K = T \sin(\alpha - \beta) - \frac{mV_{PI}^2 \cdot \cos^2 \alpha}{\rho}, \quad (4)$$

где $[\sigma_d]$ – допустимое динамическое напряжение для корнеплодов;

A_K – площадь пятна контакта поверхностей барабана и корнеплода при их взаимодействии.

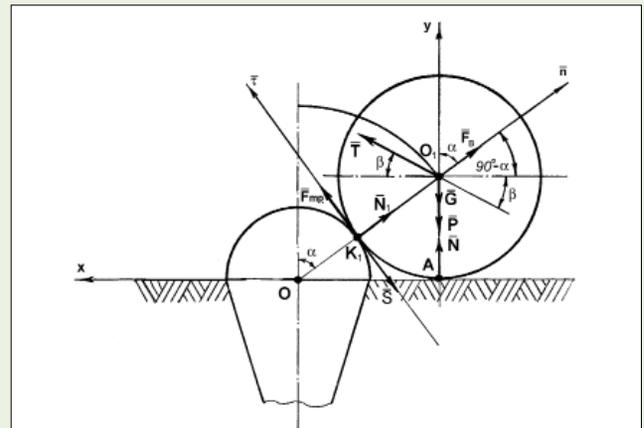


Рис. 2. Схема начала взаимодействия барабана с головкой корнеплода

Для обеспечения процесса счесывания остатков с головки корнеплода надо подобрать необходимую силу контакта барабана с головкой $\bar{N}_K \neq 0$ в любой точке K_i контакта. Очевидно, что этому условию будет соответствовать аналитическое выражение:

$$N_k = G \cos \varphi + P \cos \varphi - F_B + T \sin(\varphi - \beta) \neq 0. \quad (5)$$

Уравнение представляет собой сумму проекций всех сил, которые приложены к барабану, на нор-

маль \bar{n} , проведенную через точку контакта K_i .

При заданных весе \bar{G} и радиусе R барабана, а также поступательной скорости его движения \bar{V}_Π необходимое значение \bar{N}_K может обеспечить лишь усилие прижима пружины \bar{P} .

Отрыв барабана от головки корнеплода возможен лишь при условии, когда $N_K = 0$.

Однако условие неотрывности фактически еще не обеспечивает требуемого уровня качества выполнения технологического процесса барабанным очистителем. Нужно за счет усилия прижима пружины \bar{P} подобрать такое значение \bar{N}_K , чтобы выполнялось условие:

$$N_K = [\sigma_{CT}] A_K, \quad (6)$$

где $[\sigma_{CT}]$ – допустимое статическое напряжение для корнеплодов.

Необходимо учитывать то обстоятельство, что при условии $N_K > [\sigma_{CT}] A_K$ будет иметь место повреждение корнеплодов.

Результаты и обсуждение. Таким образом, технологический процесс работы барабанного очистителя (качественное счесывание остатков ботвы) возможен при условии:

$$[\sigma_{CT}] A_K + \left(\frac{V_\Pi^2 \cos \varphi}{\rho} - g \right) m \cdot \cos \varphi - P \cos \varphi - T \sin(\varphi - \beta) = 0 \quad (7)$$

для любой точки контакта K_i барабана с головкой корнеплода.

Для самой верхней точки K_2 ($\varphi = 0$) контакта барабана с головкой корнеплода из уравнений (3) и (7) получим:

$$[\sigma_{CT}] A_K + \left(\frac{V_\Pi^2}{\rho} - g \right) m - P + T \sin \beta = 0. \quad (8)$$

Поскольку на участке $K_1 K_2$ барабан вследствие поступательного движения наезжает на головку корнеплода, то условие неотрывности барабана на участке $K_1 K_2$ будет гарантированно обеспеченным.

На участке $K_2 K_3$ барабан, наоборот, съезжает с головки корнеплода, поэтому возможен его отрыв от нее. Чтобы этого не произошло, необходимо подобрать величину силы прижима пружины \bar{P} , которая обеспечит контакт барабана с головкой корнеплода на протяжении всего участка. Совершенно очевидно, что если указанный контакт будет обеспечен в точке K_3 , то он будет сохраняться и на всем участке $K_2 K_3$.

С этой целью необходимо составить дифференциальное уравнение движения барабана (его оси O_1) при полном обкатывании головки корнеплода. С учетом всех сил, которые действуют на барабан

в любой точке K_i его контакта с головкой корнеплода, данное уравнение в векторной форме будет иметь вид:

$$m\bar{a} = \bar{N}_K + \bar{F}_B + \bar{P} + \bar{G} + \bar{F} + \bar{S} + \bar{T}, \quad (9)$$

где m – масса барабана; \bar{a} – ускорение барабана.

Если спроецировать данное дифференциальное уравнение на оси x и y выбранной неподвижной системы координат, то получим систему дифференциальных уравнений, которая описывает в общем виде движение барабана очистителя по поверхности головки корнеплода:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{1}{m} \left[-N_K \sin(\alpha - \Omega t) - \frac{mV_\Pi^2 \cdot \cos^2(\alpha - \Omega t)}{\rho} \sin(\alpha - \Omega t) + \right. \\ &\quad \left. + fN_K \cos(\alpha - \Omega t) - S \cos(\alpha - \Omega t) + T \cos \beta \right], \\ \ddot{y} &= \frac{1}{m} \left[N_K \cos(\alpha - \Omega t) + \frac{mV_\Pi^2 \cdot \cos^3(\alpha - \Omega t)}{\rho} - P - mg + \right. \\ &\quad \left. + fN_K \sin(\alpha - \Omega t) - S \sin(\alpha - \Omega t) + T \sin \beta \right], \end{aligned} \right\} (10)$$

где Ω – угловая скорость перекатывания барабана по головке корнеплода.

После интегрирования системы уравнений (10) и сложных математических выкладок, учитывающих неотрывность контакта барабана и корнеплода на участке $K_2 K_3$, получим формулы для определения площади пятна контакта A_K , массы барабана m и силы прижима пружины \bar{P} .

Так, из уравнения (4) найдем площадь пятна контакта барабана с головкой корнеплода:

$$A_K = \frac{T \cdot \rho \cdot \sin(\alpha - \beta) - mV_\Pi^2 \cdot \cos^2 \alpha}{[\sigma_D] \rho}.$$

А затем рассчитаем силу прижима пружины \bar{P} :

$$\begin{aligned} P &= m \left[-g - \frac{[\sigma_{CT}] V_\Pi^2 \cos^2 \alpha}{[\sigma_D] \rho} \left(\frac{f \sin \alpha}{\alpha^2} + \frac{\sin \alpha}{\alpha} - \frac{f \cos \alpha}{\alpha} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{V_\Pi^2 \cos \alpha}{\rho} + \frac{V_\Pi^2 \sin \alpha}{\alpha \rho} - \frac{V_\Pi^2 \sin^3 \alpha}{3\alpha \rho} \right] - \frac{S \sin \alpha}{\alpha^2} + \\ &\quad + \frac{[\sigma_{CT}] T \sin(\alpha - \beta)}{[\sigma_D]} \left(\frac{f \sin \alpha}{\alpha^2} + \frac{\sin \alpha}{\alpha} - \frac{f \cos \alpha}{\alpha} \right) + \\ &\quad + T \sin \beta + \frac{S \cos \alpha}{\alpha}. \end{aligned}$$

Поскольку сила \bar{P} определена с учетом N_K , то это как раз и есть максимально допустимая сила прижима барабана к головке корнеплода, при которой будет обеспечено эффективное счесывание остатков ботвы с головки корнеплода без ее повреждения.

Выводы. Получены новые математические зависимости, которые дают возможность только на основе конструктивных и технологических параметров рассчитать оптимальные критерии барабанного очистителя головок корнеплодов.

Литература:

1. Погорель Л.В., Татьяна Н.В. Свеклоуборочные машины: История, конструкция, прогноз. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
2. Булгаков В.М. Бурякозбиральні машини. – К.: Аграрна наука, 2011. – 352 с.
3. Зуев Н.М., Топоровский С.А. Бескопирный срез головок корнеплодов // Сахарная свекла. – 1988. – № 6. – С. 42-45.
4. Роїк М.В., Зуєв М.М., Курило В.Л., Гументик М.Я. Науково-методичні рекомендації щодо збирання цукрових буряків. – К.: Аграрна наука, 2002. – 40 с.
5. Булгаков В.М., Борис А.М. Методика та за-

- соби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2011, В. 107, Т. 1. – С. 175-188.
6. Борис А.М. Моделивання технологічного процесу видалення гички комбінованим способом // Вісник аграрної науки: – Київ. 2011. – № 7. – С. 66-68.
7. Борис А.М. Обґрунтування раціонального діапазону копирного зрізу гички цукрових буряків. Збірник наукових статей Луцького національного технічного університету. – Луцьк, 2011. – № 21(1). – С. 26-30.

MATHEMATICAL MODEL OF ROOT CROPS HEADS CLEANER

V.V. Adamchuk¹, V.M. Bulgakov²

¹National Research Centre «Institute for Mechanization and Electrification of Agriculture» of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Vokzal'naya St., 11, set. Glevakha, Vasil'kovskiy district, Kiev region, 08631, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Geroev Oborony St., 15, Kiev, 03041, Ukraine, e-mail: vbulgakov@meta.ua

Working out of new designs of a drum cleaner of root crop heads is necessary at modernization of beet-harvesters. A drum cleaner, contacting to a root crop head, clears it of a leafy tops owing to compulsory drum rotation round a horizontal axis and its forward motion on a surface of a root crop head. An effective doffing of tops remains from a root crop head without its damage occurs under an influence of a maximum allowed force of a hold-down of a drum to a root crop head depending on force of the reaction of a root crop directed on a normal to a head surface. Thus, force of reaction of a root crop depends on a static stress, admissible for a root crop, and the area of contact of a drum and a root crop surfaces. The authors determined a necessary force of contact of a drum with a head in any point for ensuring process of a doffing of the top remains from a root crop head. A differential equation of the movement of a drum at full copying of a root crop head was offered. Due to received formulas it is possible to determinate an area of a contact spot, mass of a drum and hold-down force of a spring considering a stability of contact of a drum and a root crop. The authors worked out new mathematical model of interaction of a drum cleaner with a root crop head during doffing of leafy tops remains and gave mathematical dependences proving cleaner parameters.

Keywords: Beet-harvester; Root crop head; Leafy tops; Template-controlled vine cutter.

References

1. Pogorelyy L.V., Tat'yanko N.V. Sveklouborochnyye mashiny: Istoriya, konstruktziya, prognoz [Beet harvesters]. Kiev: Feniks, 2004. 232 pp. (Russian)
2. Bulgakov V.M. Buryakozbiral'ni mashini [Beet harvesters]. Kiev: Agrarna nauka, 2011. 352 pp. (Ukrainian).
3. Zuev N.M., Toporovskiy S.A. Beskopirnyy srez golovok korneplo dov [Un template-controlled cut of root crop heads]. Sakharnaya svekla. 1988. No. 6. pp. 42-45 (Russian).
4. Roik M.V., Zueuev M.M., Kurilo V.L., Gumentik M.Ya. Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo zbirannya tsukrovikh buryakiv [Scientific and methodical recommendations for sugar beet harvesting]. Kiev: Agrarna nauka, 2002. 40 pp. (Ukrainian).
5. Bulgakov V.M., Boris A.M. Metodika ta zasobi

- laboratornikh doslidzhen' protsesu vidokremlennya gichki eksperimental'nimi robochimi organami [Technique of laboratory researches of leafy tops doffing by experimental working elements]. Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva im. P. Vasilenka. 2011, V. 107, T. 1. pp. 175-188 (Ukrainian).
6. Boris A.M. Modelyuvannya tekhnologichnogo protsesu vidalennya gichki kombinovanim sposobom [Modeling of technological process of leafy tops doffing by combined way]. Visnik agrarnoi nauki: Kiev, 2011. No. 7. pp. 66-68 (Ukrainian).
7. Boris A.M. Obgruntuvannya ratsional'nogo diapazonu kopirnogo zrizu gichki tsukrovikh buryakiv. Zbirnik naukovikh statey Luts'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu [Justification of rational range of a template-controlled cut of leafy tops of sugar beet]. Lutsk, 2011. No. 21(1). pp. 26-30 (Ukrainian).