

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОЧИСТИТЕЛЯ ПОЧВЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ ЛУКОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A CYLINDRICAL CLEANER OF SOIL IMPURITIES OF ONION HARVESTER

А.В. СИБИРЁВ, к.т.н.
А.С. ДОРОХОВ, чл.-корр. РАН
А.Г. АКСЕНОВ, к.т.н.
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия, 1053vim@mail.ru

A.V. SIBIREV, PhD in Engineering
A.S. DOROKHOV, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences
A.G. AKSENOV, PhD in Engineering
Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, 1053vim@mail.ru

Особенностью уборки лука-севка является то, что состав примесей луко-почвенного вороха, поступающего с выкапывающих рабочих органов на сепарирующие, составляют почвенные комки, соизмеримые по размерам с луковицами лука-севка, которые являются трудноотделимыми на щелевых (прутковые элеваторы, грохоты) рабочих органах. Вторичная сепарация вороха лука-севка на наиболее распространенных в настоящее время устройствах вторичной сепарации – пальчатых горках сдерживается неоднородностью механических свойств убираемого лука. У хорошо вызревшего лука с отмершей ботвой углы скатывания четко отделяются от углов скатывания растительных и мелких почвенных примесей, однако при неотмершей ботве разделение луковиц и примесей на пальчатой горке затруднено. Отделение корнеклубнеплодов и лука от примесей в механических сепараторах основано на физико-механических свойствах взаимодействующих продуктов: коэффициентов трения, коэффициентов формы поверхности, коэффициентов восстановления скорости, массы, плотности и прочностных характеристиках. Данное обстоятельство вызвано тем, что выделение почвенных комков на щелевых рабочих органах (прутковые транспортеры и грохоты) происходит по размерным признакам, и это не приводит к решению существующей проблемы – сепарации почвенных комков, соизмеримых по размерам с луковицами лука-севка. В статье представлена конструкция цилиндрического очистителя почвенных примесей, обеспечивающего максимальную полноту сепарации вороха лука от почвенных примесей, в том числе от соизмеримых почвенных комков. Приведены результаты теоретических исследований цилиндрического очистителя почвенных примесей по обоснованию конструктивных и технологических параметров при сепарации вороха лука-севка от почвенных примесей.

Ключевые слова: лукоуборочная машина, лук-севок, цилиндрический очиститель почвенных примесей.

A special feature of harvesting onion is that the composition of the impurities of the onion-soil heap coming from digging up to the separating working organs is soil lumps commensurate in size with onion bulbs, which are difficult to separate into slit (bar elevators, screens) working organs. Secondary separation of onion on the most common secondary separation devices – pinholes – is restrained by the heterogeneity of the mechanical properties of the harvested onions. In well-ripened onions with dead tops the roll-off angles are clearly separated from the rolling-off angles of plant and small soil impurities, but when the undersized tops are separated, it is difficult to separate bulbs and impurities from the paltry hill. The separation of root crops and onions from impurities in mechanical separators is based on the physico-mechanical properties of the interacting products: friction coefficients, surface shape factors, speed recovery coefficients, mass, density and strength characteristics. This circumstance is caused by the fact that the excretion of soil lumps on the slit working bodies (rod conveyors and screens) occurs according to dimensional features and this does not lead to the solution of the existing problem: the separation of soil lumps commensurate in size with onion bulbs. The article presents the design of a cylindrical soil purifier that ensures the maximum completeness of separation of a heap of onions from soil impurities, including from commensurate soil lumps. The results of theoretical studies of a cylindrical soil purifier on the substantiation of structural and process parameters during the separation of onion-seed heap from soil impurities are presented.

Keywords: onion harvesting machine, onion, cylindrical soil impurities cleaner.

Введение

Проведенный анализ технических средств сепарации корнеклубнеплодов и луковиц от почвенно-растительных примесей показал, что отделение луковиц лука-севка от соизмеримых с ними почвенных комков по одному разделительному признаку не обеспечивает полного отделения луковиц от комков почвы [1–4].

Наиболее перспективными для решения вопроса разделения могут быть устройства, принцип работы которых основан на разделении корнеклубнеплодов и луковиц от почвенных комков по комплексу признаков (способности к качению, трению, эластичности и массе).

Анализ свойств вороха лука-севка показывает, что наибольшее различие наблюдается в углах трения луковиц и почвенных комков. С учетом этого перспективный способ отделения луковиц от соизмеримых с ними по размеру почвенных комков должен основываться на разделении по коэффициенту трения и массе.

Цель исследований

Целью исследования является обоснование оптимальных конструктивных и технологических параметров цилиндрического очистителя почвенных примесей машины для уборки лука.

Материалы и методы

В связи с этим в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан цилиндрический очиститель почвенных примесей (рис. 1), который предназначен для выделения почвенных комков и примесей из сепарируемого вороха лука-севка, поступивших с пруткового элеватора лукоуборочной машины [5].

Работа цилиндрического очистителя почвенных примесей основана на принципах разделения по различной способности к трению и массы луковиц лука-севка от соизмеримых с ними почвенных комков.

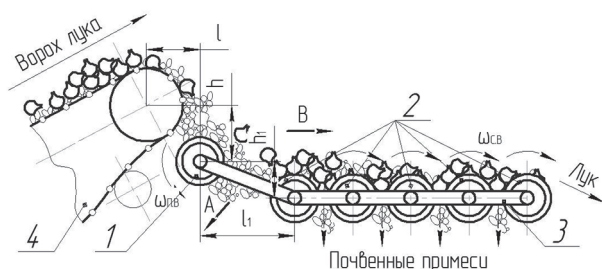


Рис. 1. Схема цилиндрического очистителя почвенных примесей:

- 1 – транспортер прутковый; 2 – валец приемный;
3 – рама; 4 – валцы сепарирующие

Рабочая поверхность цилиндрического очистителя почвенных примесей образована набором параллельных обрезиненных валцов: приемного 2 и сепарирующих 4, установленных на раме 3 очистителя.

Для интенсификации процесса очистки луковиц лука-севка от почвенных примесей приемный валец 2 очистителя со стороны пруткового элеватора 1 расположен со смещением в вертикальной и горизонтальной плоскостях на величину h и l , соответственно, с технологическим зазором T . Валцы 2 и 4 цилиндрического очистителя почвенных примесей установлены на общей раме 3, при этом сепарирующие валцы 4 вращаются в сторону схода луковиц с одинаковой угловой скоростью $\omega_{с.в.}$, а приемный валец 2 вращается в противоположном направлении с угловой скоростью $\omega_{п.в.}$.

Принцип работы цилиндрического очистителя почвенных примесей заключается в следующем.

Обрабатываемый ворох лука-севка движется в направлении вращения валцов 2 и 4 с поверхности пруткового элеватора 1. В момент схода вороха лука-севка после предварительной очистки с поверхности пруткового элеватора 1 луковицы и комки почвы взаимодействуют с поверхностью приемного валца 2. Почвенные комки в результате соударения с приемным валцом 2 из-за своих физико-механических характеристик приобретают траекторию движения, отличную от луковиц, т.е. почвенные комки скатываются в направлении вращения приемного валца 2 и сходят на поверхность поля.

Почвенные комки при соударении с поверхностью приемного валца 2 приобретают кинетическую энергию и отскакивают от его поверхности в направлении схода A , так как соизмеримые с луковицами комки почвы обладают большей массой и их траектория движения будет отличаться от траектории полета луковицы.

Луковицы, обладающие большей эластичностью и способностью к качению в сравнении с почвенными комками, а кроме того, имеющие более округлую форму, скатываются в направлении вращения приемного валца 2 на дальнейшую сепарацию в направлении схода B по поверхности цилиндрического очистителя.

Мелкие почвенные примеси и растительные остатки проходят в зазор между сепарирующими валцами 4, а луковицы, очищенные от

почвенных комков и мелких почвенно-растительных примесей сходят на поверхность поля и укладываются в валок.

Результаты и обсуждение

Для обеспечения равномерного распределения вороха лука-севка по поверхности приемного вальца цилиндрического очистителя почвенных примесей (рис. 2), а также исключения потерь сепарируемой продукции необходимо, чтобы соблюдалось условие соотношения размеров между толщиной слоя h_B вороха лука-севка, поступающего на приемный валец цилиндрического очистителя почвенных примесей, и его диаметром $D_{П.В.}$:

$$D_{П.В.} \geq h_B, \quad (1)$$

где $D_{П.В.}$ – диаметр приемного вальца цилиндрического очистителя почвенных примесей, м; h_B – толщина слоя вороха лука-севка, сходящего с пруткового элеватора, м.

$$h_B = \frac{Q_{Вэл}}{q_B B_{Эл}}.$$

При этом, интенсивность сепарации вороха лука-севка на прутковом элеваторе определяется по зависимости:

$$q_B = \frac{m v_{Эл}}{B_{Эл} L_{Эл}},$$

где $L_{Эл}$ – длина пруткового элеватора, м.

Для предотвращения сгуживания вороха лука-севка между прутковым элеватором и приемным вальцом цилиндрического очистителя почвенных примесей, а также равномер-

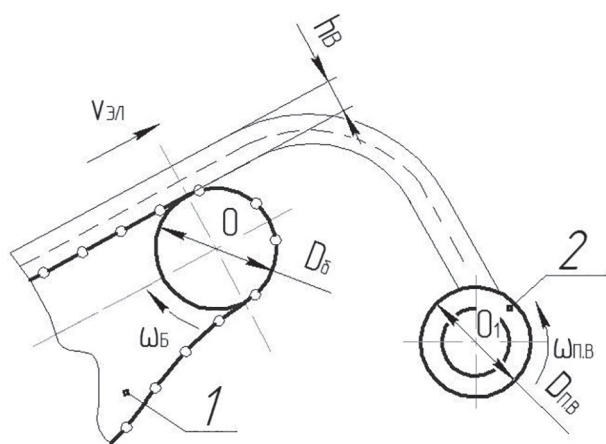


Рис. 2. Схема к определению диаметра приемного вальца цилиндрического очистителя почвенных примесей:

1 – прутковый элеватор; 2 – валец приемный

ной подачи вороха с приемного вальца на поверхность сепарирующих вальцов необходимо, чтобы скорость $v_{П.В.}$ движения сепарируемого вороха на приемном вальце цилиндрического очистителя почвенных примесей была больше скорости $v_{Эл}$ движения на прутковом элеваторе:

$$v_{П.В.} \geq v_{Эл}; \pi n_{П.В.} D_{П.В.} k_1 \geq \pi n_B D_B k_2,$$

где $n_{П.В.}$ – частота вращения приемного вальца, мин⁻¹; $D_{П.В.}$ – диаметр приемного вальца, м; k_1 – коэффициент, учитывающий проскальзывание луковицы относительно приемного вальца; n_B – частота вращения барабана пруткового элеватора, мин⁻¹; D_B – диаметр барабана пруткового элеватора, м; k_2 – коэффициент, учитывающий проскальзывание луковицы относительно прутков элеватора.

$$n_{П.В.} \geq \frac{n_B D_B k_2}{D_{П.В.} k_1}. \quad (2)$$

Для определения диаметра сепарирующих вальцов цилиндрического очистителя почвенных примесей воспользуемся уравнениями динамики относительного движения материальной точки, решением которых определим искомые уравнения движения луковицы. В целях упрощения задачи нами приняты следующие основные допущения:

- точка касания луковицы с сепарирующими вальцами находится в одной плоскости, перпендикулярной осям вращения валов;
- сопротивлением воздуха пренебрегаем;
- боковые силы отсутствуют;
- форма луковицы имеет форму шара;
- сепарирующий валец вращается с постоянной угловой скоростью.

Рассмотрим силы, действующие на луковицу в промежуточном ее положении: G – вес луковицы, Н; N_1, N_2 – нормальная реакция сепарирующего вальца на луковицу, Н. Кроме того, добавим силы инерции I_c в переносном движении и кориолисову силу инерции I_c (рис. 3).

При равномерном вращении сепарирующих вальцов с угловой скоростью $\omega_{с.в.}$ ее угловое ускорение равно нулю. Следовательно переносное вращательное ускорение луковицы $\omega_{ст}$ и вращательная сила инерции в переносном движении $J_{ст}$ равны нулю.

Транспортирование луковицы (рис. 3) через сепарирующие вальцы цилиндрического очистителя почвенных примесей возможно в том случае, если угол β_2 , образованный касатель-

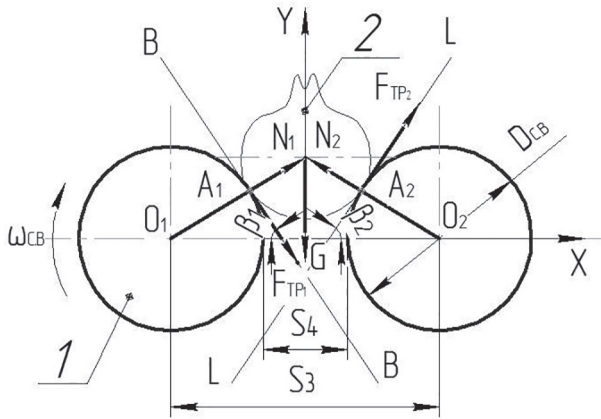


Рис. 3. Схема к определению диаметра сепарирующего вальца цилиндрического очистителя почвенных примесей:
1 – валец сепарирующий; 2 – луковича

ной $L-L$ с горизонталью, не превышает угол трения луковича о поверхность вальца [1].

Данное условие выполняется при соотношении:

$$D_{c.B} \leq \frac{(D_L \sin \varphi_L - S_4)}{(1 - \sin \varphi_L)}, \quad (3)$$

где φ_L – угол трения луковича о поверхность сепарирующего вальца, град; S_4 – расстояние между сепарирующими вальцами, м; D_L – диаметр луковича, м.

Транспортирование луковича без отрыва от поверхности сепарирующих вальцов цилиндрического очистителя почвенных примесей согласно рис. 3 будет происходить при условии [1]:

$$\begin{cases} N_2 = 0; \\ G > I_{en}. \end{cases} \quad (4)$$

Следовательно сила трения, возникающая от взаимодействия луковича с сепарирующими вальцами, равна $F_{тр} = 0$.

С учетом вышеизложенного выразим из второго выражения (4) минимальную угловую скорость $\omega_{c.B}$ сепарирующего вальца, при которой происходит транспортирование луковича без отрыва от сепарирующей поверхности:

$$m \omega_{c.B}^2 R_{c.B} + N_1 f_{1k} \cdot \cos \beta_1 + N_1 \cdot \sin \beta_1 < g \cdot \cos \beta_1,$$

где β_1 – угол наклона плоскости BB к горизонтالي, град.

$$\omega_{c.B} < \sqrt{\frac{g}{R_{c.B} + N_1 (1 + \sin \beta_1)}}.$$

Исходя из того, что угловая скорость [6]:

$$\omega_{c.B} = \frac{\pi n_{c.B}}{30},$$

где $n_{c.B}$ – частота вращения прутка сепарирующего вальца, мин⁻¹.

Максимально допустимая частота вращения $n_{c.Bmax}$ сепарирующих вальцов цилиндрического очистителя почвенных примесей, при которой происходит транспортирование луковича без отрыва от сепарирующей поверхности:

$$n_{c.Bmax} < 30 \sqrt{\frac{g}{\pi [R_{c.B} + N_1 (1 + \sin \beta_1)]}}. \quad (5)$$

После того, как ворох лука-севка переместится с сепарирующего элеватора на приемный валец, происходит разделение траекторий движения комков почвы и лукович лука-севка в результате различных эластичных свойств лукович и комков почвы.

Более эластичные и обладающие большей способностью к качению луковича скатываются с поверхности вальца в сторону, противоположную направлению его вращения, а комки почвы сбрасываются приемным вальцом на другую сторону. В связи с этим определим траекторию движения комка почвы и луковича лука-севка. Для предотвращения потерь лука-севка в результате увеличенного технологического зазора между приемным и сепарирующими вальцами цилиндрического очистителя почвенных примесей необходимо установить его оптимальную величину.

Для определения координат взаимного расположения центров вращения приемного и сепарирующих вальцов рассмотрим траекторию полета луковича лука-севка с началом свободного падения луковича в точке A (рис. 4), принимая луковичу лука-севка за материальную точку.

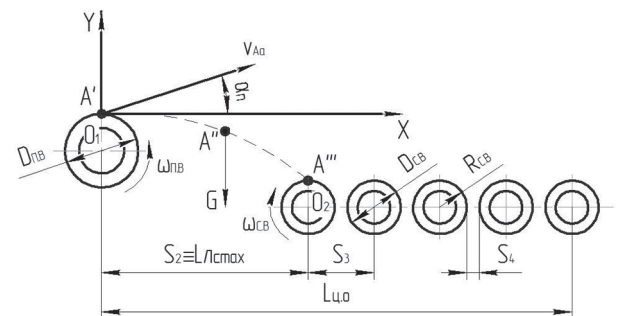


Рис. 4. Схема к определению межосевого расстояния между приемным и сепарирующим вальцами цилиндрического очистителя почвенных примесей

Решение данной задачи сводится к рассмотрению свободного падения материальной точки с начальной скоростью $v_{Aн0}$ приемного вальца:

$$v_{Aн0} = v_{Aa} \frac{\pi n_{П.В}}{30},$$

где $n_{П.В}$ – частота вращения приемного вальца цилиндрического очистителя почвенных примесей, мин^{-1} .

Пренебрегая силой сопротивления воздуха, запишем уравнение движения материальной точки A , представляющей собой луковичу лука-севка под углом α к горизонту, равной скорости $v_{Aн0}$ движения частицы A лукового вороха под действием силы тяжести луковичи G в виде [1, 3]:

$$\begin{cases} X = v_{Aн0} t; \\ Y = v_{Aн0} \cdot \sin \alpha_{П} t - \frac{g t^2}{2}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\alpha_{П}$ – угол наклона скорости $v_{Aн0}$ к горизонту, град.

Для определения уравнения траектории движения материальной точки A исключим из первого выражения системы уравнений (6) время t и подставим его во второе выражение системы уравнений (6). В результате имеем [6]:

$$t = \frac{X}{v_{Aн0} \cdot \cos \alpha_{П}}; \\ Y = -\frac{g}{2v_{Aн0}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{П}} \cdot X^2 + X \cdot \text{tg} \alpha. \quad (7)$$

Полученное уравнение (7) является уравнением второго порядка и представляет собой параболу.

Время t_1 полета материальной точки A до точки A'' определяется из условия $Y = \max$ [2]:

$$\frac{dY}{dt} = v_{Aн0} \cdot \sin \alpha_{П} - g t_1 = 0; \quad t_1 = \frac{v_{Aн0} \cdot \sin \alpha_{П}}{g}.$$

Дальность полета материальной точки в горизонтальной плоскости (рис. 4) определим из уравнения траектории движения частицы почвы (6) при $Y = 0$:

$$0 = -\frac{g}{2v_{Aн0}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{П}} \cdot X^2 + X \cdot \text{tg} \alpha_{П}. \quad (8)$$

Из выражения (8) определим максимальное и минимальное значения дальности полета материальной точки A – соответственно, $L_{Лс\text{min}}$ и $L_{Лс\text{max}}$:

$$x_{11} = L_{Лс\text{min}} = 0; \quad x_{12} = L_{Лс\text{max}} = \frac{\sin 2\alpha_{П}}{g}.$$

Величина $x_{11} = L_{Лс\text{min}}$ соответствует начальному моменту полета материальной точки, а величина $x_{12} = L_{Лс\text{max}}$ определяет величину дальности полета материальной точки по горизонтали.

Таким образом, минимальное межосевое расстояние S_2 между приемным и сепарирующим вальцами определяется из условия:

$$S_2 = v_{Aн0}^2 \cdot \frac{\sin 2\alpha_{П}}{g}. \quad (9)$$

Межосевое расстояние S_3 между сепарирующими вальцами цилиндрического очистителя почвенных примесей определяется из условия невозможности прохода луковичи с минимальным диаметром $d_{Л\text{min}}$ через щелевое отверстие S_4 , образованное смежными сепарирующими вальцами, т.е.:

$$S_4 \leq D_{Л\text{min}},$$

где $D_{Л\text{min}}$ – минимальный диаметр луковичи лука-севка, м.

Согласно рис. 4 имеем, что:

$$S_3 \geq D_{Л\text{min}} - 2R_{С.В}, \quad (10)$$

где $R_{С.В}$ – радиус сепарирующего вальца, м.

Выводы

1. Теоретические исследования цилиндрического очистителя почвенных примесей позволили получить зависимости, для определения диаметра приемного (1) и сепарирующих (8) вальцов, частоты вращения приемного (7) и сепарирующих (5) вальцов, межосевого расстояния между приемным и сепарирующим вальцами (9), межосевого расстояния между сепарирующими вальцами цилиндрического очистителя почвенных примесей (10).

2. На основании проведенных теоретических исследований был изготовлен цилиндрический очиститель почвенных примесей, который проходил исследования в лабораторных и полевых условиях по обоснованию оптимальных конструктивных и технологических параметров. В результате проведения экспериментальных исследований было установлено, что полнота сепарации вороха лука-севка на оптимальных режимах составляет 98...99 % при повреждениях до 1,0 %, что соответствует существующим рекомендациям на уборку корнеплодов и лука.

Литература

1. Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука. М.: 1995. 391 с.
2. Лобачевский Я.П., Емельянов П.А., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. Машинная технология производства лука. М: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.
3. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2005. 355 с.
4. Ларюшин А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дисс. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2010. 426 с.
5. Аксенов А.Г., Прямов С.А., Сибирёв А.В. Машина для уборки лука-севка: патент на изобретение № 2585481, Российская Федерация. Опубликовано 27.05.2016. Бюл. № 15.
6. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах: В 3-х томах. Т. 1. Статика и кинематика. М.: Наука, 1984. 504 с.
2. Lobachevskiy Ya.P., Emel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka [Machine technology of onion production]. Moscow: FGBNU FNATs VIM Publ., 2016. 168 p.
3. Protasov A.A. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i tekhnicheskikh sredstv dlya uborki luka: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Improvement of technological processes and technical means for harvesting onions: dissertation for degree of Doctor of Technical Sciences]. Saratov, 2005. 355 p.
4. Laryushin A.M. Energosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya uborki luka: diss. ... d-ra tekhn. nauk [Energy-saving technologies and technical means for harvesting onions: dissertation for degree of Doctor of Technical Sciences]. Penza, 2010. 426 p.
5. Aksenov A.G., Pryamov S.A., Sibirev A.V. Mashina dlya uborki luka-sevka [Machine for harvesting onion]: patent na izobretenie No 2585481, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.05.2016. Byul. No 15.
6. Bat' M.I., Dzhanelidze G.Yu., Kel'zon A.S. Teoreticheskaya mekhanika v primerakh i zadachakh: V 3-kh tomakh. Vol. 1. Statika i kinematika [Theoretical mechanics in examples and problems: In 3 volumes. Vol. 1. Statics and kinematics]. Moscow: Nauka Publ., 1984. 504 p.

References

1. Khvostov V.A., Reyngart E.S. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka [Machines for harvesting root crops and onions]. Moscow: 1995. 391 p.

Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК – 4002.2018.8.