

Уточненный расчет сепарирующей поверхности машины для уборки лука

Алексей Викторович Сибирёв,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: sibirev2011@yandex.ru;
Александр Геннадьевич Аксенов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;

Алексей Семенович Дорохов,
доктор технических наук, член-корреспондент
Российской академии наук,
главный научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Многообразие почвенно-климатических условий России требует разработки и применения соответствующих технологий и технических средств уборки корнеплодов. Определяющие влияние на развитие машин и технологий уборки овощных культур оказывают физико-механические свойства убираемой культуры, тип и состояние почвы. *(Цель исследования)* Определить интенсивность сепарации луко-почвенного вороха на прутковом элеваторе, величину подачи вороха с поверхности пруткового элеватора на устройства вторичной сепарации применительно к машинам для уборки лука. *(Материалы и методы)* Лимитирующим фактором при выделении основных конструктивных параметров рабочих органов технического средства служат размерно-массовые характеристики исследуемого материала. Рассмотрели вопрос о повышении качественных показателей работы сепарирующих устройств лукоуборочных машин в результате уточнения основных входных параметров, определяющих технологический процесс очистки луковиц от почвенно-растительных примесей. Установили величину подачи вороха лука на подкапывающий лемех лукоуборочной машины в соответствии с размерно-массовыми характеристиками луковиц. *(Результаты и обсуждение)* Определили долю луковиц в общем объеме подкапываемого вороха, массу вороха лука и примесей на сходе с поверхности пруткового элеватора, подачу вороха лука с поверхности пруткового элеватора на устройства вторичной сепарации. Уточнили зависимости, характеризующие вероятность исключения потерь фракционного состава вороха лука через щелевые отверстия пруткового элеватора и интенсивность сепарации. Выявили влияние конструктивных и технических параметров пруткового элеватора, а также массы мелкой почвенной фракции на интенсивность сепарации вороха луковиц на прутковом элеваторе. *(Выводы)* Получили формулу, определяющую подачу вороха луковиц на устройства вторичной сепарации с поверхности пруткового элеватора в зависимости от его конструктивных и технологических параметров, а также от массы вороха луковиц. **Ключевые слова:** лук, уборка лука, почвенные комки, подача вороха, фракции вороха, интенсивность сепарации.

■ **Для цитирования:** Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Дорохов А.С. Уточненный расчет сепарирующей поверхности машины для уборки лука // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №3. С. 28-31. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-28-31

Proximate Design of Onion Harvester Separating Surface

Aleksei V. Sibirev,
Ph.D. (Eng.), Senior Research Engineer,
email: sibirev2011@yandex.ru;
Aleksandr G. Aksenov,
Ph.D. (Eng.), Key Research Engineer;

Aleksey S. Dorokhov, Dr.Sc. (Eng), Corresponding
Member of the Russian Academy of Sciences,
Chief Researcher;

Federal Research Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract: High variability of soil and climatic conditions in Russia requires to develop and use appropriate technologies and technical means to harvest root crops. The authors have determined input parameters that depend on physical and mathematical characteristics of harvested crops, soil type and condition and have a critical impact on developing crop harvesters and harvesting technologies. *(Research purpose)* The research aims at determining the separation intensity of onion-soil heap on the rod elevator, as well as onion heap supply from the surface of the rod elevator trails to the secondary separation mechanisms – all relating to onion harvesting machines. *(Materials and methods)* The size and mass parameters of the studied material are limitative for

designing basic parameters of the working elements of technical equipment. The issue of increasing quality indicators of onion picker separators is considered on condition that basic input parameters should be precisely defined as they determine technological process of onion cleaning from soil and plant impurities. The authors have determined the amount of onion heap supply to the onion harvester lifting share in accordance with onion dimensional and mass characteristics. (*Results and discussion*) The onion fraction in the total lifted heap has been determined as well as the weight of onion heap and impurities on the rod elevator trails and onion heap supply from the surface of the rod elevator trails to the secondary separation mechanisms. The authors have also specified separation intensity as well as interdependencies describing a possibility of loss prevention in onion heap fractional composition passing through the rod elevator slots. The influence of design and technical parameters of the rod elevator as well as the influence of fine soil fraction mass on the onion heap separation intensity of the rod elevator have been revealed as well. (*Conclusions*) The formula has been obtained to determine onion heap supply from the rod elevator surface to the secondary separation mechanisms depending on design and technical parameters of the rod elevator as well as the onion heap weight.

Keywords: Onion; Onion harvesting; Clumped soil; Heap supply; heap fractions; separation intensity.

For citation: Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S. Proximate design of onion harvester separating surface: *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny iologii*. 2018; 12(2): 28-31. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-28-31. (In Russian)

Развитие промышленного производства лука-севка сдерживается отсутствием средств механизированной уборки луковиц, отвечающих одному из агротехнических требований – полноте сепарации вороха луковиц от почвенных примесей [1, 2]. Кроме того, в связи с повышением урожайности лука-севка использованием в качестве семенного материала высокоурожайных гибридов (Геркулес *FI*, Стурон, Трой *FI*, Штур БС 20, Центурион *FI*, Форум *FI*, Глобус, Золотничок) возрастают масса и количество луковиц лука-севка на одном погонном метре [3]. Следовательно, увеличивается подача вороха луковиц с поверхности подкапывающих устройств на сепарирующие рабочие органы первичной и вторичной сепарации современных лукоборочных машин, которые не обеспечивают полноту выделения почвенных примесей при уборке лука.

Качество выполнения технологического процесса работы машины для уборки лука в первую очередь определяется работой выкапывающего рабочего органа. В зависимости от его типа и технологических параметров меняются конструктивно-технологические параметры сепарирующих устройств [4-7]. Выявлены особенности изменения интенсивности сепарации клубненосного вороха картофелеуборочного комбайна [8]. Но клубни картофеля и луковицы лука-севка обладают различными размерно-массовыми и физико-механическими свойствами. Поэтому при расчете сепарирующих устройств луковиц требуется уточнить соответствующие эмпирические коэффициенты и аналитические зависимости.

Цель исследования – определение интенсивности сепарации луко-почвенного вороха на прутковом элеваторе, величины подачи вороха с поверхности пруткового элеватора на устройства вторичной сепарации применительно к машинам для уборки лука.

Материалы и методы. Для определения величины подачи вороха луковиц с подкапывающих на сепарирующие рабочие органы лукоборочной машины необходимо в рамках лаборатории воссоздать условия,

идентичные реальным, при возделывании лука.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Долю луковиц W_L по отношению к общему объему луко-почвенного вороха определяем по выражению [9]:

$$W_L = \frac{V_L}{V_B}, \quad (1)$$

где V_L – объем луковиц, подкапываемый лемехом, m^3 ; V_B – объем луко-почвенного вороха, подкапываемый лемехом, m^3 .

Подачу вороха лука $Q_{вп}$ на подкапывающий лемех находим по выражению [10]:

$$Q_{вп} = \frac{V_B v_L (\rho_{п} + \rho_L)}{l_{п}}, \quad (2)$$

где v_L – поступательная скорость подкапывающего лемеха, m/c ; $\rho_{п}$ – плотность почвы, kg/m^3 ; ρ_L – плотность луковиц, kg/m^3 ; $l_{п}$ – длина подкапывающего лемеха, m .

Таким образом, при известной схеме посевов лука величину подачи вороха на подкапывающий лемех можно определить по формуле (2), учитывающей физико-механические свойства почвы и луковиц.

Состав вороха лука $m_{вп}$, поступающего с поверхности подкапывающего рабочего органа на сепарирующие органы, образован пятью основными фракциями (по массе, kg):

- мелкими почвенными примесями m_1 ;
- комками почвы, соизмеримыми с луковицами m_2 ;
- крупными почвенными комками m_3 ;
- луковицами m_4 ;
- растительными примесями m_5 .

Рабочая поверхность пруткового элеватора образована набором прутков диаметром $d_{п}$ с щелевым расстоянием между ними $S_{п}$, обусловленным выполнением технологического процесса сепарации с соблюдением условий [4]:

- максимальное просеивание почвенных и других примесей;
- сокращение до минимума потерь и повреждений

корнеклубнеплодов. Реализация первого условия требует увеличения просветов в элеваторе и интенсивности воздействия на компоненты вороха. Выполнение второго условия предполагает сужение просветов и щадящий режим работы. Согласно технологической схеме машины для уборки корнеклубнеплодов и лука, устройства первичной сепарации предназначены для выделения мелких почвенных примесей m_1 , поэтому щелевые отверстия для предупреждения потерь товарной продукции выбирают из условия:

$$S_{\Pi} < d_K, \quad (3)$$

где d_K – минимальный диаметр корнеклубнеплода, м.

Следовательно, фракционный состав вороха лука-севка на сходе $m_{CXэл}$ с пруткового элеватора состоит из:

- комков почвы, соизмеримых по размерам с луковичками, m_2 ;
- крупных почвенных комков, m_3 ;
- луковиц, m_4 .

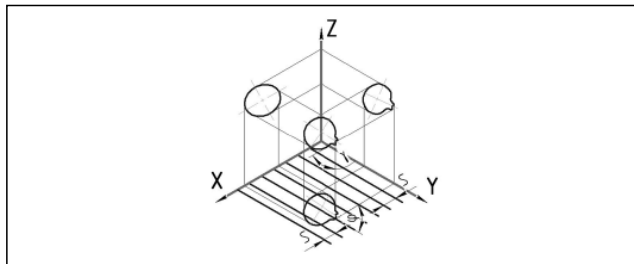


Рис. Схема определения вероятности прохождения луковички через просветы пруткового элеватора

Fig. Diagram to possibility determination of onion penetration through rod elevator blanks

Возможен случай пересечения луковичей поверхности пруткового элеватора параллельно его пруткам (рисунок).

Вероятность данного события [4]:

$$P = \frac{8}{\pi^2 S} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \frac{d_K \sin \varphi \sin \gamma - S_{\Pi}}{2} d\varphi d\gamma, \quad (4)$$

где φ – угол между горизонтальной проекцией луковички и прутками элеватора, град;

γ – угол между вертикальной проекцией луковички и прутками элеватора, град.

При этом:

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{S_{\Pi}}{d_K \sin \gamma}; \quad (5)$$

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{2S_{\Pi}}{d_K \sin \gamma}; \quad (6)$$

$$\gamma_1 = \arcsin \frac{d_K \sin \varphi}{2S_{\Pi}}; \quad (7)$$

$$\gamma_2 = \arcsin \frac{2S_{\Pi}}{d_K \sin \varphi}, \quad (8)$$

где γ_1, φ_1 – минимальные, а γ_2 и φ_2 – максимальные

значения параметров. Вероятность P' исключения потерь фракционного состава вороха лука (m_2, m_3, m_4) через щелевые отверстия пруткового элеватора определяем выражением [4]:

$$P' = \frac{\pi - 2\eta_2}{\pi} + \frac{2d_K}{\pi^2 S_{\Pi}} (\eta_2 - \eta_1) - \frac{d_K}{\pi^2 S_{\Pi}} (\sin 2\eta_2 - \sin 2\eta_1) - \frac{4}{\pi^2} (\eta_2 - \eta_1), \quad (9)$$

где: $\eta_1 = \arcsin \sqrt{\frac{S_{\Pi}}{d_K}}; \quad (10)$

$$\eta_2 = \arcsin \sqrt{\frac{2S_{\Pi}}{d_K}}, \quad (11)$$

где η_1, η_2 – пределы изменения углов φ и γ , благоприятствующих данному событию.

С сепарирующей поверхности пруткового элеватора сходят фракции луковиц, крупные почвенные комки и комки, соизмеримые с луковичками. Поэтому масса вороха лука на сходе с пруткового элеватора равна:

$$m_{CXэл} = (m_2 + m_3 + m_4)P'. \quad (12)$$

Вычислим вероятность прохода P'_{Π} массы $m_{CXэл}$ через щелевые отверстия S_{Π} пруткового элеватора:

$$P'_{\Pi} = 1 - P'. \quad (13)$$

Согласно формуле (12) получаем массу вороха лука на сходе $m_{CXэл}$ с поверхности пруткового элеватора:

$$m_{CXэл} = 2P'(m_2 + m_3 + m_4) - (m_2 + m_3 + m_4). \quad (14)$$

Массу отсепарированной мелкой почвенной фракции m_1 найдем по выражению:

$$m_1 = m_{Вп} - m_{CXэл}, \quad (15)$$

где $m_{Вп}$ – масса вороха лука, поступающего с подкапывающих на сепарирующие рабочие органы, кг:

$$m_{Вп} = \frac{Q_{Вп} l_{\Pi}}{v_{л}}. \quad (16)$$

При известной подаче $Q_{Вп}$ вороха лука на подкапывающий лемех определим интенсивность сепарации вороха луковиц на поверхности пруткового элеватора уборочной машины $q_{в}$. В соответствии с [11, 12] уточним известную формулу согласно выражению (12):

$$q_{в} = \frac{m_1 v_{эл}}{B l_{эл}}, \quad (17)$$

где $v_{эл}$ – поступательная скорость движения пруткового элеватора, м/с;

B – ширина пруткового элеватора, м;

$l_{эл}$ – длина пруткового элеватора, м.

Подачу вороха луковиц с поверхности пруткового элеватора на устройства вторичной сепарации определяем по формуле:

$$Q_{Вэл} = \frac{m_{CXэл} v_{эл}}{l_{эл}}. \quad (18)$$

Выводы. Результаты проведенных исследований

позволяют определить интенсивность сепарации луковиц, величину подачи вороха луковиц с поверхности пруткового элеватора на устройства вторичной

сепарации применительно к машинам для уборки лука. Эти показатели служат определяющим фактором при проектировании устройств вторичной сепарации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №6. С. 6-10.
2. Лобачевский Я.П., Емельянов П.А., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Машинная технология производства лука: Монография. М.: ВИМ, 2016. 168 с.
3. Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Исследование размерно-массовых характеристик лука-севка гибрида Геркулес F1 // *Вестник Казанского ГАУ*. 2016. №2(40). С. 5-9.
4. Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). М.: 1995. 391 с.
5. Алдошин Н.В., Дидмандзе О.Н. Инженерно-техническое обеспечение качества механизированных работ: Монография. М.: РГАУ-МСХА, 2015. 188 с.
6. Алдошин Н.В. Стабильность технологических процессов в растениеводстве // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2007. №3. С. 5-7.

7. Алдошин Н.В. Анализ технологических процессов в растениеводстве // *Техника в сельском хозяйстве*. 2008. №1. С. 34-37.
8. Сорокин А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин: Монография. М.: ВИМ. 2006. 158 с.
9. Костенко М.Ю., Костенко Н.А. Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочной машины // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2009. №12. С. 4.
10. Сибирев А.В. Аналитическое определение величины подачи вороха лука-севка на подкапывающий лемех // *Аграрный научный журнал*. 2017. №5. С. 75-78.
11. Латышенков М.Б., Горячкина И.Н. Костенко М.Ю. Результаты исследования интенсивности сепарации на лабораторном прутковом элеваторе при регулировании загрузки // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2010. №5. С. 70-72.
12. Thompson A.K. Post-harvest Technology of Fruit and Vegetables. Berlin: Blackwell Science, 1996: 282. (In English)

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machinery and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. №6: 6-10. (In Russian)
2. Lobachevskiy Ya.P., Yemel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka: Monografiya [Machine technology of onion production: Monograph]. M.: VIM, 2016: 168. (In Russian)
3. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Issledovaniye razmerno-massovykh kharakteristik luka-sevka gibrida Gerkules F1 [Study the dimensionmass characteristics of Hercules F1 hybrid onion] // *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2016. №2(40): 5-9. (In Russian)
4. Khvostov V.A., Reyngart E.S. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka (teoriya, konstruktsiya, raschet) [Root crop and onion harvesters (theory and design)]. M.: 1995: 391. (In Russian)
5. Aldoshin N.V., Didmanidze O.N. Inzhenerno-tekhnicheskoye obespecheniye kachestva mekhanizirovannykh rabot: Monografiya [Engineering and technical support of the quality of mechanized works: Monograph]. M.: RGAU-MSKhA, 2015: 188. (In Russian)
6. Aldoshin N.V. Stabil'nost' tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Consistency of technology processes in crop production] // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo*

7. Aldoshin N.V. Analiz tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Analysis of technological processes in crop production] // *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2008. №1: 34-37. (In Russian)
8. Sorokin A.A. Teoriya i raschet kartofeleuborochnykh mashin: Monografiya [Theory and design of potato harvesters: Monograph]. M.: VIM. 2006: 158. (In Russian)
9. Kostenko M.Yu., Kostenko N.A. Veroyatnostnaya otsenka separiruyushchey sposobnosti elevatora kartofeleuborochnoy mashiny [Probabilistic estimation of the separating capacity of the potato harvesting machine elevator] // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2009. №12: 4. (In Russian)
10. Sibirev A.V. Analiticheskoye opredeleniye velichiny podachi vorokha luka-sevka na podkapyvayushchiy lemekh [Analytical determination of the amount of seed onion heap supply to a lifting share] // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2017. №5: 75-78. (In Russian)
11. Latyshekov M.B., Goryachkina I.N., Kostenko M.Yu. Rezul'taty issledovaniya intensivnosti separatsii na laboratornom prutkovom elevatore pri regulirovanii zagruzki [Analysis results of the separation intensity of a lab raddle elevator with adjustable load] // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. 2010. №5: 70-72. (In Russian)
12. Thompson A.K. Post-harvest Technology of Fruit and Vegetables. Berlin: Blackwell Science, 1996: 282. (In English)

Статья поступила в редакцию 10.09.2017

Статья принята к публикации 02.06.2018

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.