

17. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Vodnyy rezhim rassady ogurtsa, tomata i fasoli [Water supply mode of cucumber, tomato and beans seedlings]. *News of science and education*. Publishing House "Education and Science" s.r.o. (Praga), 2017; 5(4): 053-060. (In Rus.)

18. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Print-sip energoinformatsionnogo yedinstva v tekhnologiyakh

upravlyayemogo vodopol'zovaniya The principle of energy informational uniformity in water management technologies]. *Nastolení moderní vědy – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko – praktická konference (27 září – 05 října 2014 roku, Praha) Díl 12. Matematika. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura. Tělovýchova a sport*. P.: Publishing House "Education and Science" s.r.o s. 48-53. (In Rus.)

Критерии авторства

Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. провели обобщение и написали рукопись. Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 27.09.2018

Contribution

Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. summarized the material and wrote the manuscript. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on September 27, 2018

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 635.25/26:631.315.2:631.332

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДКАПЫВАЮЩЕГО ЛЕМЕХА МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И ЛУКА

СИБИРЕВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник¹

E-mail: sibirev2011@yandex.ru

АКСЕНОВ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник¹

МОСЯКОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ, аспирант²

E-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

Качество уборки лука определяется работой выкапывающего рабочего органа, так как в зависимости от его типа и технологических параметров зависят конструктивно-технологические параметры сепарирующих устройств. Представлены результаты исследований по обоснованию оптимальных технологических параметров выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука в зависимости от изменения физико-механических свойств материала, взаимодействующего с исследуемым рабочим органом (глубина подкапывания и поступательная скорость движения). Обоснованы основные конструктивные и технологические параметры исследуемого подкапывающего рабочего органа. Получены формулы, позволяющие определить оптимальный радиус кривизны формы рабочей поверхности подкапывающего лемеха в полярных координатах и дифференциального уравнения движения частицы почвы по поверхности лемеха для подкапывания корнеплодов и лука. Представлены результаты исследований по обоснованию конструкции подкапывающего лемеха по наибольшей скорости подъема частицы почвы в зависимости от формы его рабочей поверхности. Установлено, что подкапывающий лемех с рабочей поверхностью, выполненной по спирали Архимеда, способен обеспечивать наиболее качественный процесс извлечения корнеплодов и лукович из почвы.

Ключевые слова: подкапывающий лемех, корнеплоды, лук, конструктивные параметры, длина, радиус кривизны, скорость подъема частиц почвы.

Формат цитирования: Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Обоснование конструктивных и технологических параметров подкапывающего лемеха машины для уборки корнеплодов и лука // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N1(89). С. 9-14.

DETERMINING DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A DIGGING SHARE OF ROOT CROP AND ONION HARVESTERS

ALEKSEI V. SIBIRYOV, PhD (Eng), Senior Research Engineer¹

E-mail: sibirev2011@yandex.ru

ALEKSANDR G. AKSENOV, PhD (Eng), Key Research Engineer¹

MAKSIM A. MOSYAKOV, postgraduate student²

E-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1-st Institutsky Proyezd, bld 5, Moscow, 109428, Russian Federation

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The quality of onion harvesting is determined by the work of a digging tool, as the design and technological parameters of the separating devices depend on the type and technological parameters of this tool. The authors have presented the research results aimed at determining the optimal technological parameters of a lifting plowshare for harvesting root crops and onion bulbs, depending on changes in the physical-and-mechanical properties of the material interacting with the considered working tool (the depth of digging and translational speed). The authors have determined the main design and technological parameters of the considered digging tool. They also have obtained a formula to determine the optimal curvature radius of the working surface of a lifting plowshare in polar coordinates, the differential equation of motion of the soil particle on the plowshare surface for digging out root crops and onion bulbs, as well as the research results concerning the lifting plowshare design at the highest rate of soil particle lifting depending on the shape of its working surface. It has been established that a lifting plowshare with a working surface in the Archimedes spiral form is capable of ensuring the most qualitative process of extracting root crops and onion bulbs from the soil.

Key words: lifting plowshare, root crops, onion bulbs, design parameters, length, radius of curvature, speed of soil particles lifting.

For citation: Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Determining design and technological parameters of a digging share of root crop and onion harvesters. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 1(89): 9-14. (in Rus.).

Введение. В настоящее время машины для уборки корнеплодов и лука не обеспечивают качественных показателей технологического процесса уборки, что приводит к повышенным потерям и повреждению товарной продукции, а, следовательно, необоснованным затратам как материальных, так и трудовых ресурсов [1-5]. Это обусловлено тем, что после подкапывания пласта почвы вместе с луковичками на сепарирующие рабочие органы поступает значительное количество почвенных комков, которые являются трудноотделимыми и не всегда подвергаются динамическому разрушению под воздействием интенсификаторов сепарации различных типов [7-10].

Необходим поиск новых решений по увеличению качественных показателей извлечения корнеплодов и лука из почвы, а именно снижению повреждений и потерь.

Цель исследований – обоснование оптимальных конструктивных и технологических параметров подкапывающего лемеха машины для уборки корнеплодов и лука.

Материал и методы. Проведены исследования скорости подъема частиц для различных форм поверхностей лемеха для подкапывания корнеплодов и лука. В исследовании были использованы методы математического анализа, моделирования и методология системного анализа.

Влияние длины l_n рабочей поверхности лемеха для подкапывания корнеплодов и лука заключается в том, что с увеличением длины заделывающего элемента скорость перемещения почвы по поверхности лемеха уменьшается, следовательно, происходит сгуживание почвы впереди лемеха.

Таким образом, длина l_n (рис. 1) рабочей поверхности лемеха оказывает определяющее влияние на качество технологического процесса подкапывания корнеплодов и лука.

Скольжение частиц почвы по поверхности лемеха без сгуживания на ее поверхности обеспечивается, когда угол α_c установки позволяет выполнить условие [6, 7]:

$$\alpha_c < (90 - \varphi_n), \quad (1)$$

где φ_n – угол трения частицы почвы о поверхность подкапывающего лемеха, град.

Длину рабочей поверхности лемеха для подкапывания корнеплодов и лука определим по известной формуле [9, 10]:

$$l_n \leq \operatorname{ctg}(\alpha_c + \varphi_n) \cdot \left\{ \frac{\sigma_b}{\rho_{об} \cdot g} - \frac{2v_m^2}{g} \cdot \sin \tau \cdot [\cos \tau \cdot \operatorname{tg}(\alpha_c + \varphi_n) - \sin \tau] \right\}, \quad (2)$$

где σ_b – временное сопротивление почвы сжатию, МПа; $\rho_{об}$ – объемная насыпная плотность почвы, кг/м³; v_m – скорость движения машины, м/с; τ – угол скалывания почвы, град.

$$\tau = \operatorname{arctg} \cdot \frac{K - \cos \alpha_c}{\sin \alpha_c}, \quad (3)$$

где K – коэффициент усадки пласта.

$$K = \frac{h_1}{h}, \quad (4)$$

где h_1 – толщина пласта почвы на лемехе для подкапывания, м; h – глубина погружения лемеха для подкапывания, м.

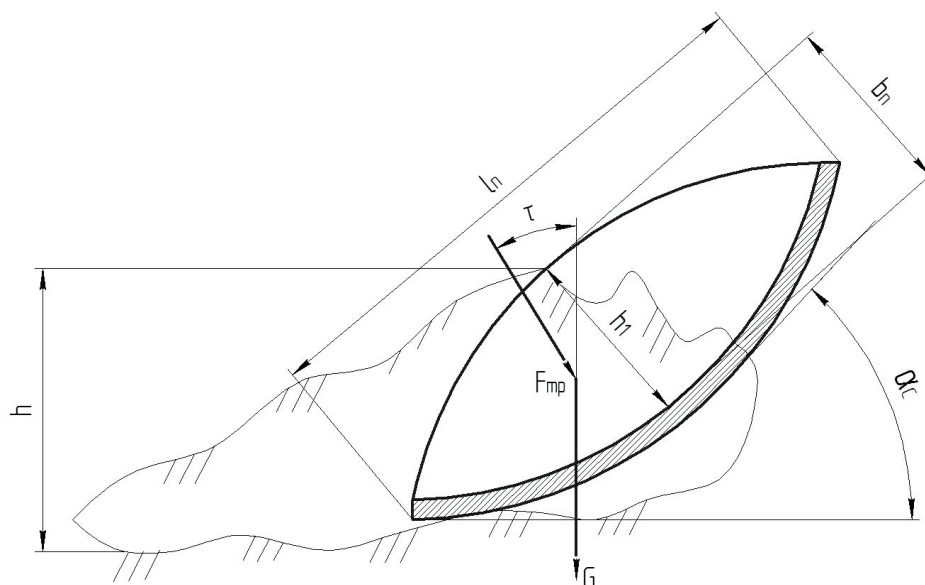


Рис. 1. Схема к определению длины лемеха для подкапывания корнеплодов и лука

Fig. 1. Diagram for determining the plowshare length for digging out root crops and onion bulbs

Допустимая длина лемеха тем меньше, чем меньше глубина подбираемого слоя. Применительно к лемеху для подкапывания известно, что при глубине подкапывания $h = 15 \dots 18$ см и $\alpha = 25^\circ$ длина лемеха должна быть не более 290 см, а при $h = 5 \dots 8$ см и $\alpha = 15^\circ$ – 130 мм.

Результаты и обсуждение. Для обеспечения качественного технологического процесса подкапывания корнеплодов и лука необходимо обеспечение быстрого подъема почвы по поверхности рабочего органа на большую высоту или на больший угол подъема $\alpha_{кр}$ (угол между касательной к лемеху в точке максимального подъема частицы почвы).

Определяющим условием в процессе подкапывания корнеплодов и лука является форма рабочей поверхности лемеха, которая должна обеспечивать беспрепятственный подъем почвы и корнеплодов и луковок по поверхности.

В первоначальный момент времени подъем почвы из междурядья происходит по прямолинейному участку АВ поверхности (рис. 2) лемеха, и данное обстоятельство возможно при выполнении условия [10-12]:

$$\alpha_0 > \varphi_n. \tag{5}$$

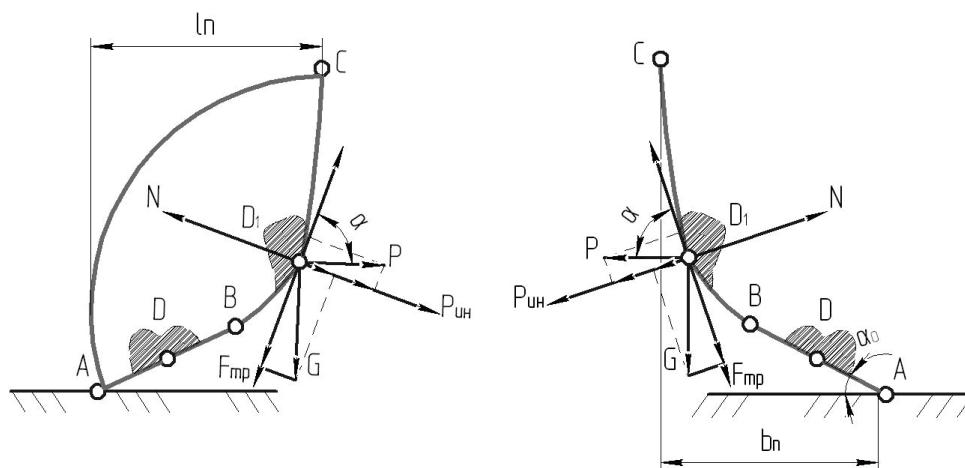


Рис. 2. Силы, действующие на частицу почвы на лемехе для подкапывания корнеплодов и лука

Fig. 2. Forces acting on a soil particle on a plowshare in the process of digging out root crops and onion bulbs

Другим важным показателем при выборе формы лемеха является скорость подъема и транспортирования почвы по его рабочей поверхности, от величины которой зависит время поднятия почвы из междурядья и подачи ее на сепарирующие устройства.

Рассмотрим силы, действующие на частицу почвы D, находящейся на поверхности лемеха в произвольном

положении. На частицу почвы при ее подъеме действуют:

– вес частицы почвы (G)

$$G = m_1 g, \tag{6}$$

где m_1 – масса частицы почвы, кг; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

– сопротивление почвы подъему (P);
 – сила инерции (P_{ин}), прижимающая частицу почвы к поверхности лемеха:

$$P_{ин} = m_1 \cdot \rho \cdot a_3^2 = \frac{m_1 \cdot v^2}{\rho}, \quad (7)$$

– нормальная реакция поверхности лемеха (N);
 – сила трения частицы почвы о поверхность лемеха F_{тр}

$$F_{тр} = f_c \cdot \left(G \cdot \cos \alpha_c + P \cdot \sin \alpha_c + \frac{m \cdot v^2}{\rho} \right). \quad (8)$$

Если кривую, описывающую форму лемеха для подкапывания корнеплодов и лука (рис. 3) представить уравнением в полярных координатах r = f(φ), то радиус кривизны поверхности будет равен

$$\rho = \frac{[f^2(\varphi) + f'^2(\varphi)]^{3/2}}{[f^2(\varphi) + 2f'^2(\varphi) - f(\varphi)f''(\varphi)]}. \quad (9)$$

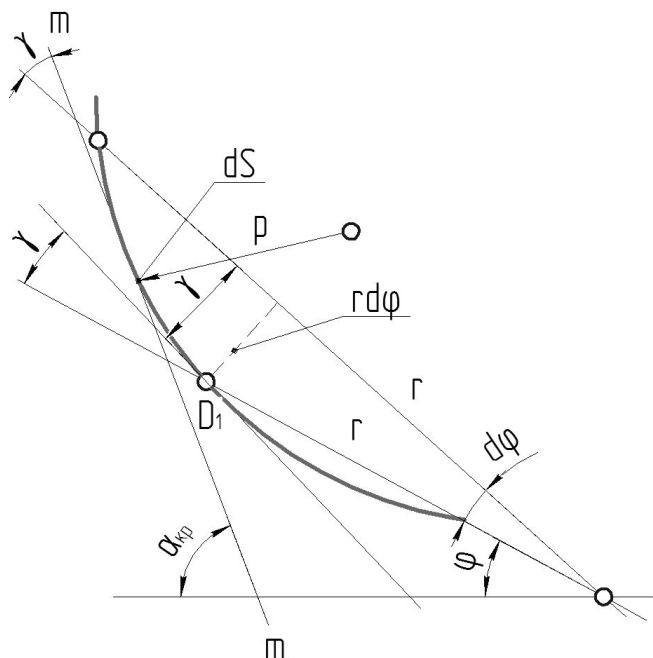


Рис. 3. Схема для определения угла α_с
 Fig. 3. Diagram for determining the angle α_с

Дифференциальное уравнение движения частицы почвы по поверхности лемеха для подкапывания корнеплодов и лука имеет вид

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = P \cdot \cos \alpha_c - G \cdot \sin \alpha_c - f_c \cdot \left(G \cdot \cos \alpha_c + P \cdot \sin \alpha_c + \frac{m \cdot v^2}{\rho} \right). \quad (10)$$

Соответственно рисунку 3

$$\alpha_c = \varphi + \gamma. \quad (11)$$

Так как

$$\sin \gamma = \frac{rd\varphi}{ds}. \quad (12)$$

$$\cos \gamma = \frac{dr}{ds}, \quad (13)$$

имеем:

$$\begin{aligned} \sin \alpha_c &= \sin(\varphi + \gamma) = \sin \varphi \cdot \cos \gamma + \cos \varphi \cdot \sin \gamma = \\ &= \frac{dr}{ds} \cdot \sin \varphi + \frac{rd\varphi}{ds} \cdot \cos \varphi. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha_c &= \cos(\varphi + \gamma) = \cos \varphi \cdot \cos \gamma - \sin \varphi \cdot \sin \gamma = \\ &= \frac{dr}{ds} \cdot \cos \varphi - \frac{rd\varphi}{ds} \cdot \sin \varphi. \end{aligned} \quad (15)$$

Если пренебречь силой инерции P_{ин}

$$P_{ин} = m \cdot \rho \cdot a_3^2 = \frac{m \cdot v^2}{\rho} = 0, \quad (16)$$

то уравнение (16) движения частицы почвы по поверхности лемеха для подкапывания корнеплодов и лука запишется в виде:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = (P - f_c \cdot G) \cdot \cos \alpha_c - (G + f_c \cdot P) \cdot \sin \alpha_c. \quad (17)$$

Для решения уравнения (17) воспользуемся подстановкой:

$$A = (P - f_c \cdot G). \quad (18)$$

$$B = (G + f_c \cdot P). \quad (19)$$

С учетом выражений (18) и (19) выражение (17) примет вид

$$\begin{aligned} m \cdot v \cdot dv &= (A \cdot \cos \varphi - B \cdot \sin \varphi) \cdot dr - \\ &- (A \cdot \sin \varphi + B \cdot \cos \varphi) \cdot r \cdot d\varphi. \end{aligned} \quad (20)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{m \cdot v^2}{2} &= \int (A \cdot \cos \varphi - B \cdot \sin \varphi) \cdot a \cdot d\varphi - \\ &- \int (A \cdot \sin \varphi + B \cdot \cos \varphi) \cdot a \cdot \varphi d\varphi. \end{aligned} \quad (21)$$

Таким образом, решая уравнение (20) и сравнивая полученные скорости подъема частиц для различных форм поверхностей лемеха для подкапывания корнеплодов и лука, выбираем рабочую поверхность подкапывающего рабочего органа, которая обладает наибольшей скоростью подъема частицы почвы по поверхности.

При этом, согласно выражению (21), форма поверхности лемеха определяется по формуле

$$a = \operatorname{ctg} \gamma_1 = \operatorname{ctg} 20^\circ = 2,74, \quad (22)$$

где γ₁ – угол между поверхностью лемеха и касательной m – m к поверхности лемеха, град.

Результаты проведенных исследований отражают перспективность дальнейших исследований подкапывающего лемеха с рабочей поверхностью, выполненной по спирали Архимеда, как функционирующего элемента уборочной машины, способного обеспечивать наиболее качественный процесс извлечения корнеплодов и лукович из почвы (рис. 4).

По оси абсцисс указан изменяемый параметр уравнения движения частицы почвы по поверхности заделывающего элемента (22), т.е. угол (φ) трения частицы почвы о материал подкапывающего рабочего органа, и радиус-вектор (r),

определяющий положение частицы почвы на исследуемом рабочем органе; по оси ординат представлен определяемый

параметр – скорость ($v_{c.п.}$) подъема частицы почвы по поверхности подкапывающего элемента.

Результаты исследований по обоснованию конструкции подкапывающего лемеха
Study results aimed at determining the digging out plowshare design

Форма поверхности подкапывающего лемеха	Скорость подъема частиц почвы $v_{c.п.}$, м/с при угле поворота лемеха ϕ , град			
	$\pi/8$	$\pi/4$	$3\pi/8$	$\pi/2$
Спираль Архимеда, $r = a \cdot \phi$	0,61	0,63	0,65	1,57
Логарифмическая спираль, $r = a \cdot e^{\phi}$	0,35	0,88	0,92	0,97
Гиперболическая спираль, $r = a / \phi$	0,93	0,81	0,69	0,57



Рис. 4. Зависимость скорости подъема частицы почвы от формы поверхности заделывающего элемента
Fig. 4. The relationship between the rate of soil particle lifting up and the surface shape of an embedding element

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

The work has been performed with the state support of young Russian PhD scientists – МК – 4002.2018.8.

Библиографический список

1. Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука: Монография / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирев. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.
2. Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Дорохов А.С. Уточненный расчет сепарирующей поверхности машины для уборки лука // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. № 3. С. 28-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-28-31.
3. Сибирев А.В., Аксенов А.Г. Анализ технологического процесса работы машин для подбора лука // Международная науч.-практ. конференция, посвященная 80-летию со дня рождения профессора Рыбалко А.Г. Т. II. Саратов: РИО СГАУ, 2016. С. 101-105.
4. Сибирев А.В., Аксенов А.Г. Анализ выкапывающих рабочих органов машин для уборки лука // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: Сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конференции. Т. II. Пенза: РИО ПГСХА, 2016. С. 156-160.
5. Алдошин Н.В., Дидманидзе О.Н. Инженерно-техническое обеспечение качества механизированных работ:

- Монография. М.: РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 188 с.
6. Сорокин А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин: Монография. М.: ГНУ ВИМ, 2006. 158 с.
7. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: Дис. ... докт. техн. наук. Саратов, 2005. 355 с.
8. Ларюшин А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: Дис. ... докт. техн. наук. Пенза, 2010. 426 с.
9. Ларюшин Н.П. Научные основы разработки комплекса машин для уборки и послеуборочной обработки лука: Дис. ... докт. техн. наук. Рязань, 1996. 350 с.
10. Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). М., 1995. 391 с.
11. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // В сб.: Горячинские чтения: Сб. докладов 1-й Международной науч.-практ. конференции, 2013. С. 6-13.
12. Башкирцев В.И., Алдошин Н.В. Обеспечение качества механизированных работ при эксплуатации сельскохозяйственной техники. М.: ФГБОУ ДПО РИАМА, 2017. 96 с.

References

1. Lobachevskiy Ya.P., Yemel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka [Mechanized technology of onion production]: Monograph. Moscow, FGBNU FNATS VIM, 2016: 168. (In Rus.)

2. Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S. Utochnennyi raschet separiruyushchey poverkhnosti mashiny dlya uborki luka [Refined calculation of the separating surface of an onion harvesting machine]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2018; 3: 28-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-28-31. (In Rus.)

3. Sibiryov A.V., Aksenov A.G. Analiz tekhnologicheskogo protsessa raboty mashin dlya podbora luka [Analysis of the technological process of machines for the onion picking up]. *Mezhdunarodnaya nauch.-prakt. konferentsiya, posvyashchennaya 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora Rybalko A.G.* Vol. II. Saratov, RIO SGAU, 2016: 101-105. (In Rus.)

4. Sibiryov A.V., Aksenov A.G. Analiz vykapyvayushchikh rabochikh organov mashin dlya uborki luka [Analysis of digging tools of onion harvesting machines]. *Innovatsionnyye idei molodykh issledovateley dlya APK Rossii: Sb. materialov Vserossiyskoy nauch.-prakt. konferentsii*. Vol. II. Penza, RIO PGSKHA, 2016: 156-160. (In Rus.)

5. Aldoshin N.V., Didmanidze O.N. Inzhenerno-tekhnicheskoye obespecheniye kachestva mekhanizirovannykh rabot [Engineering and technical quality assurance of mechanized operations]: Monograph. Moscow, RGAU MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2015: 188. (In Rus.)

6. Sorokin A.A. Teoriya i raschet kartofeleuborochnykh mashin [Theory and calculation of potato harvesting machines]: Monograph. Moscow, GNU VIM, 2006: 158. (In Rus.)

7. Protasov A.A. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh protsessov i tekhnicheskikh sredstv dlya uborki luka [Improvement of technological processes and technical means for onion harvesting]: DSs (Eng) thesis. Saratov, 2005: 355. (In Rus.)

8. Laryushin A.M. Energosberegayushchiye tekhnologii i tekhnicheskoye sredstva dlya uborki luka [Energy-saving technologies and technical means for onion harvesting]: DSs (Eng) thesis. Penza, 2010: 426. (In Rus.)

9. Laryushin N.P. Nauchnyye osnovy razrabotki kompleksa mashin dlya uborki i posleuborochnoy obrabotki luka [Scientific basis for the development of complex machines for onion harvesting and post-harvest processing]: DSs (Eng) thesis. Ryazan', 1996: 350. (In Rus.)

10. Khvostov V.A., Reyngart E.S. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka (teoriya, konstruktsiya, raschet) [Machines for harvesting root crops and onion bulbs (theory, design, calculation)]. Moscow, 1995: 391. (In Rus.)

11. Aldoshin N.V. Modelirovaniye kachestva vypolneniya mekhanizirovannykh rabot [Modeling the performance quality of mechanized operations]. In: *Goryachkinskiye chteniya: Sb. dokladov I-y Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konferentsii*, 2013: 6-13. (In Rus.)

12. Bashkirtsev V.I., Aldoshin N.V. Obespecheniye kachestva mekhanizirovannykh rabot pri ekspluatatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Quality assurance of mechanized operations when using agricultural machinery]. Moscow, FGBOU DPO RIAMA, 2017: 96. (In Rus.)

Критерии авторства

Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 04.10.2018

Contribution

Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on October 4, 2018