

# ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНОГО ВАЛЬЦА КАТКА-ЛОЖЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ЛУКА

## SUBSTANTIATION OF THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE SPIRAL ROLLER FOR THE ONION HARVESTING MACHINE

**А.В. СИБИРЕВ**, к.т.н.  
**А.Г. АКСЕНОВ**, к.т.н.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия, sibirev2011@yandex.ru

**A.V. SIBIRYOV**, PhD in Engineering  
**A.G. AKSENOV**, PhD in Engineering

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, sibirev2011@yandex.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 рабочих органах (прутковые элеваторы, грохоты). Данная проблема является наиболее актуальной в первой фазе уборки лука-севка. Кроме того, выделение почвенных комков на щелевых рабочих органах происходит по размерным признакам, что не приводит к решению существующей проблемы – сепарации почвенных комков, соизмеримых по размерам с луковицами лука-севка. Следовательно, для обеспечения качественных показателей уборки лука-севка, а именно полноты отделения луковиц от почвенных примесей, необходимо обеспечить снижение или полнейшее исключение поступления на сепарирующие рабочие органы почвенных комков во второй фазе уборки, т.е. при подборе из валков, что и интенсифицирует предлагаемый каток-ложеобразователь машины для уборки лука. В статье представлена конструкция катка-ложеобразователя машины для уборки лука, интенсифицирующего максимальную полноту сепарации вороха лука от почвенных примесей, в том числе от соизмеримых почвенных комков, во второй фазе уборки лука. Приведены результаты теоретических исследований обоснования конструктивных и технологических параметров катка-ложеобразователя машины для уборки лука.

*Ключевые слова:* каток-ложеобразователь, машина для уборки лука, конструктивные параметры, технологические параметры, валец спиральный.

The peculiarity of harvesting onion sets is that the composition of the impurities of the onion-soil heap coming from the digging working bodies to the separating working bodies is made up by soil lumps commensurate in size with the onion-seed bulbs, which are difficult to separate at slotted (bar elevators, screens) working bodies. This problem is most relevant in the selection of onion sets from rolls, because together with the bulbs, the separating working bodies receive the soil layer, loosened by the digging working bodies in the first phase of harvesting onion sets, which are the basis of fractional composition and is hardly separable on slotted working bodies. This circumstance is explained by the fact that after the soil is dugged together with commercial products, a significant amount of soil lumps, which are difficult to separate on the separating working bodies and lead to damage of root crops and bulbs during their interaction, come to the separating working bodies. In addition, the release of soil lumps on the slit working bodies (rod conveyors and screens) occurs according to dimensional signs and this does not lead to a solution to the existing problem - separation of soil lumps commensurate in size with onion bulbs. Consequently, to ensure quality indicators of harvesting onion sets, namely, the completeness of the separation of bulbs from soil impurities, it is necessary to ensure a reduction or complete exclusion of the receipt of soil lumps on the separating working bodies in the second phase of harvesting, which intensifies the onion harvesting roller. The article presents the design of device for onion harvesting, which intensifies the maximum completeness of separation of onion heaps from soil impurities, including comparable soil lumps during the second phase of onion harvesting. The results of theoretical studies of the device for on-ion harvesting based on the design and technological parameters are given.

*Keywords:* scraper bar roller, onion harvesting machine, design parameters, technological parameters, spiral shaft.

## Введение

Анализ современного состояния способов и технических средств, способствующих снижению содержания почвенных примесей в товарной продукции лука-севка показал, что разработка научно-обоснованных технических решений, способствующих снижению содержания почвенных примесей при уборке лука требует в первую очередь дополнительных теоретических и практических исследований по воздействию рабочих органов и факторов, влияющих на полноту отделения почвенных комков при уборке лука-севка как в первой, так и во второй фазах.

## Цель исследований

Обоснование оптимальных конструктивных и технологических параметров катка-ложеобразователя машины для уборки лука с целью интенсификации сепарации лука-севка от соизмеримых почвенных комков в результате снижения поступления почвенных комков на сепарирующие рабочие органы совместно с луковичками лука-севка во второй фазе его уборки, т.е. при подборе из валков.

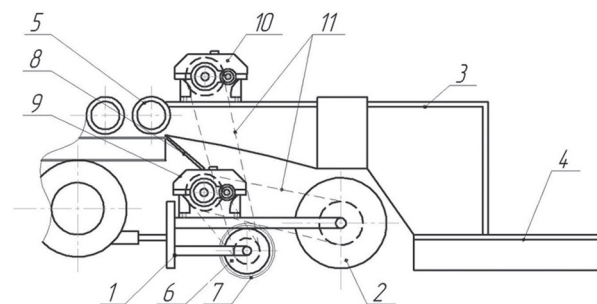
## Материалы и методы

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан каток-ложеобразователь [3] лукоуборочной машины, способствующий снижению поступления совместно с луковичками лука-севка почвенных комков на сепарирующие рабочие органы во второй фазе уборки, т.е. при подборе из валков, и интенсификации сепарации в целом [4].

Каток-ложеобразователь (рис. 1) включает раму 1, цилиндрический валец 2, сужающий лоток 3 и образователь валка 4, сепарирующий элеватор 5, под которым на раме 1 установлен спиральный валец 6 с периферийно расположенной вдоль всей его длины спиральной поверхностью, имеющей форму поперечного сечения в виде сегмента 7, лоток 8 схода примесей, редукторы 9 и 10 регулировки частоты вращения катков и цепной передачи 11.

Каток-ложеобразователь работает следующим образом.

При вращательно-поступательном движении спирального вальца 6 по полю он своей цилиндрической поверхностью уплотняет почву до оптимального значения, а выступами в виде сегмента 7, расположенными на поверхности спирального вальца 6 симметрично относительно поперечной оси, создает вол-



**Рис. 1. Схема катка-ложеобразователя лукоуборочной машины:**

1 – рама; 2 – валец спиральный; 3 – лоток сужающий; 4 – образователь валка; 5 – сепаратор роликовый; 6 – валец спиральный; 7 – сегмент; 8 – лоток схода примесей; 9, 10 – редукторы; 11 – передача цепная

новой рельеф на поверхности почвы. Спираль 7 вальца 6 образует впадину на поверхности поля, причем за счет того, что начало и конец каждого выступа сегмента 7 находятся на одной образующей спирального вальца 6 и совпадают с серединой следующего за ним выступа, каток перемещается равномерно, не смещает почву и не оказывает на нее ударное воздействие. Гладкий цилиндрический валец 2, установленный за спиральным вальцом 6, уплотняет и образует ограничительные валики, расположенные по краям убранный поверхности поля.

Таким образом, ложе, сформированное катком-ложеобразователем, препятствует раскатыванию лукович и образуется из рыхлой отсепарированной мелкокомковатой почвы без уплотнения, что исключает последующее поступление или максимальное снижение поступления почвенных комков на сепарирующие органы машины при подборе лукович из валка и, как следствие, обеспечивает снижение содержания почвенных и растительных примесей, а также травмирование лука-севка при его подборе из валков путем формирования ложа под валок регулируемой плотности, обеспечивающего дозаривание продукта на его поверхности.

## Результаты и обсуждение

Для обеспечения качественно подготовленного ложа под валок лука-севка необходимо, чтобы спиральный валец катка-ложеобразователя производил измельчение почвенных комков до размеров меньше минимального диаметра стандартной фракции луковички для

того, чтобы происходила очистка луковиц на сепарирующих рабочих органах от мелких почвенных примесей (т.к. приемно-подкапывающая часть лукоборочной машины совместно с луковицами производит подбор почвенных комков, которые являются трудноотделимыми из-за соизмеримых размеров со стандартными луковицами).

Исходя из сказанного следует, что максимальный диаметр  $d_{\text{Кmax}}$  комка почвы должен быть меньше минимального диаметра  $D_{\text{Лmin}}$  стандартной фракции лука-севка, т.е. [5–8]:

$$d_{\text{Кmax}} \leq D_{\text{Лmin}}, \quad (1)$$

где  $d_{\text{Кmax}}$  – максимальный диаметр комка почвы, м.

Минимальный диаметр  $d_{\text{СП}}$  спирали вальца катка-ложеобразователя определяется исходя из величины максимального размера почвенного комка, образующегося после подкапывания лемехом лукоборочной машины пласта почвы, а также обеспечения защемления комка почвы между спиралью и барабаном вальца катка-ложеобразователя [3]:

$$d_{\text{СП}} \geq \frac{d_{\text{Кmax}} \cdot \cos \varphi}{(1 - \cos \varphi)}. \quad (2)$$

Данное условие выполнится тогда, когда комки почвы после прохода спирального вальца катка-ложеобразователя будут составлять одну фракцию, так как агротехническими требованиями качество измельчения почвы оценивается по ее фракционному составу.

Рассмотрим геометрические размеры комков почвы, измельчаемые спиральным вальцом катка-ложеобразователя (рис. 2).

Ширина и высота комка почвы  $M$  и  $N$  зависят от толщины взрыхленного слоя почвы и ширины захвата  $B_{\text{СП}}$  спирального вальца катка-ложеобразователя.

Следовательно, для того чтобы комки почвы  $M$  и  $N$  составляли одну фракцию, необходимо обеспечить равенство их максимальной толщины.

Для этого комок почвы  $(M+N)$ , ограниченный двумя траекториями – спирали и барабаном спирального вальца, необходимо так разделить в продольном сечении траектории спирали, чтобы в взрыхленном слое почвы максимальная толщина комка почвы  $F - (\delta_{\text{max}}^M)$  равнялась максимальной толщине комка почвы  $G - (\delta_{\text{max}}^N)$ .

Предположим, что равенство:

$$\delta_{\text{max}}^M = \delta_{\text{max}}^N \quad (3)$$

выполняется при разделении пополам  $\delta_{\text{max}}^{(M+N)}$  траектории спирали вальца.

Величина  $R_{\text{СПВ}}$  должна быть такой, чтобы точки соприкосновения  $R_{\text{БСП}}$  и  $R_{\text{СПВ}}$  с поверхностью взрыхленного слоя почвы в продольно-вертикальной плоскости располагались на расстоянии:

$$S_M = S_N = \frac{2\pi \cdot R_{\text{БСП}}}{\varrho \lambda}, \quad (4)$$

где  $\varrho$  – угол между витками спирали вальца катка-ложеобразователя, град;  $\lambda$  – кинематический показатель спирального вальца катка-ложеобразователя:

$$\lambda = \frac{v_0}{v_{\text{Д}}}, \quad (5)$$

где  $v_0$  – окружная скорость спирали вальца катка-ложеобразователя, м/с;  $v_{\text{Д}}$  – поступательная скорость движения лукоборочной машины, м/с.

В координатах отрезок  $S_F$  параллелен оси абсцисс, поэтому расстояние от оси ординат до точки  $d$  должно быть больше расстояния от оси ординат до точки  $c$  на величину  $S_M$ :

$$L_d = L_c + \frac{2\pi \cdot R_{\text{БСП}}}{\varrho \lambda}. \quad (6)$$

Величина  $L_c$  определяется суммой проекции на ось абсцисс отрезка  $R_{\text{БСП}}$  и поступательного перемещения барабана спирального

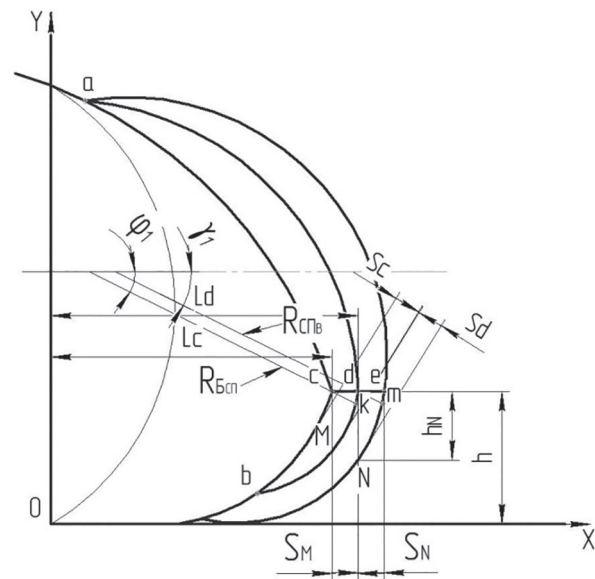


Рис. 2. Схема для определения диаметра спирали спирального вальца катка-ложеобразователя лукоборочной машины

валца катка-ложеобразователя за время поворота  $R_{\text{БСП}}$  до соприкосновения с почвой, т.е. на угол  $\varphi_1$ :

$$L_c = \frac{\varphi_1 \cdot R_{\text{БСП}}}{\lambda} + R_{\text{БСП}} \cdot \cos \varphi_1. \quad (7)$$

Угол  $\varphi_1$  поворота  $R_{\text{СПВ}}$  до соприкосновения с поверхностью взрыхленного слоя:

$$L_d = L_c + \frac{2\pi \cdot R_{\text{БСП}}}{\rho\lambda}, \quad (8)$$

где  $\gamma_1$  – угол входа спирального вальца катка-ложеобразователя в почву, град.

Поэтому величина  $L_d$  определяется суммой проекции на ось абсцисс отрезка  $R_{\text{СПВ}}$  и поступательного перемещения спирального вальца катка-ложеобразователя за время поворота на угол  $\varphi_1$ :

$$\varphi_1 = (\alpha + \gamma_1); \quad (9)$$

$$L_d = \frac{(\alpha + \gamma_1) R_{\text{БСП}}}{\lambda} + R_{\text{СПВ}} \cdot \cos \gamma_1. \quad (10)$$

Подставляя (7) и (10) в уравнение (6), получаем:

$$\frac{(\alpha + \gamma_1) R_{\text{БСП}}}{\lambda} + R_{\text{СПВ}} \cdot \cos \gamma_1 = \frac{\varphi_1 \cdot R_{\text{БСП}}}{\lambda} + R_{\text{БСП}} \cdot \cos \varphi_1 + \frac{2\pi \cdot R_{\text{БСП}}}{\rho\lambda}. \quad (11)$$

Из выражения (11) выразим угол  $\gamma_1$ . Для этого определим расстояние от оси абсцисс до точек  $d$  и  $c$ , а также приравняем их, откуда:

$$\gamma_1 = \arcsin \left( \frac{\sin \varphi_1}{R_{\text{СПВ}} / R_{\text{БСП}}} \right). \quad (12)$$

Подставив (12) в формулу (11) имеем:

$$\frac{\pi / \rho - \varphi_1 + \arcsin \left( \frac{\sin \varphi_1}{R_{\text{СПВ}} / R_{\text{БСП}}} \right)}{\cos \varphi_1 - \sqrt{\left( R_{\text{СПВ}} / R_{\text{БСП}} \right)^2 - \sin^2 \varphi_1}} = \lambda. \quad (13)$$

Выражение (13) имеет смысл при

$$R_{\text{СПВ}} / R_{\text{БСП}} > \sin \varphi_1. \quad (14)$$

Ширина захвата  $B_{\text{СПВ}}$  спирального вальца катка-ложеобразователя (рис. 3) определяется технологической шириной подкапывающего устройства  $B_k$ , которая в свою очередь зависит от технологической схемы посева лука,

ширины просеивающего транспортера  $B_T$  и расстояния между щитками, сужающими ворох, который сходит с сепарирующего рабочего органа лукоборочной машины.

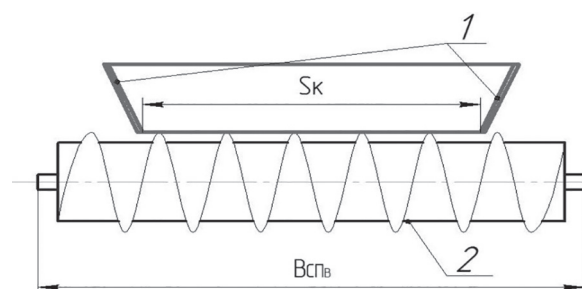


Рис. 3. Схема к определению ширины спирального вальца:

1 – щитки сужающие; 2 – спиральный валец

Так как последним фактором, влияющим на ширину образующегося вальца, исходя из технологического процесса уборки лука, является расстояние  $S_k$  между сужающими щитками 1, то ширина захвата  $B_{\text{СПВ}}$  спирального вальца 2 катка-ложеобразователя должна удовлетворять неравенству:

$$B_{\text{СПВ}} \geq S_k. \quad (15)$$

Образование рыхлого почвенного слоя происходит в результате крошения и измельчения комков почвы после извлечения луковиц из почвы лемехами лукоборочной машины. Интенсификации процесса измельчения комков почвы катком-ложеобразователем лукоборочной машины способствует спиральная навивка на катке. Для определения шага  $t_{\text{СП}}$  навивки спирали и угла  $\Sigma$  наклона ее к горизонтальной оси  $OO$  катка рассмотрим силы, действующие на комок почвы. На комок почвы  $K$  действует сила воздействия спирали (рис. 4), которую можно разложить на две составляющие – нормальную  $F_N$  и тангенциальную  $F_T$ .

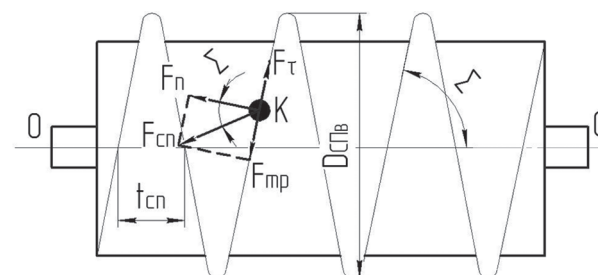


Рис. 4. Схема сил, действующих на комок почвы спирального вальца

Перемещение комка почвы по поверхности спирали осуществляется при условии:

$$F_{\tau} \geq F_{\text{ТР}}, \quad (16)$$

где  $F_{\text{ТР}}$  – сила трения комка почвы по поверхности спирали, Н.

Определим силу трения:

$$F_{\text{ТР}} = F_N \cdot \text{tg}\varphi_{\Pi}, \quad (17)$$

где  $\varphi_{\Pi}$  – угол трения комков почвы о поверхность спирали, град.

Определим  $F_{\tau}$  касательную составляющую силы  $F_{\text{СП}}$ :

$$F_{\tau} = F_N \cdot \text{tg}\Sigma. \quad (18)$$

С учетом формул (17) и (18) условие (16) запишется в виде:

$$\text{tg}\Sigma \geq \text{tg}\varphi_{\Pi}. \quad (19)$$

Таким образом, угол  $\Sigma$  наклона спирали к горизонтальной оси ОО должен быть больше угла  $\varphi_{\Pi}$  трения комков почвы о поверхность спирали.

Исходя из теории расчета конструктивных параметров шнековых машин имеем:

$$t_{\text{СП}} = \text{tg}\Sigma \cdot \pi \cdot D_{\text{СПВ}}, \quad (20)$$

где  $D_{\text{СПВ}}$  – диаметр спирального вальца, м.

Кроме того известно, что для предотвращения сгуживания почвы спиральным вальцом катка-ложеобразователя диаметр  $D_{\text{СПВ}}$  вальца должен определяться:

$$D_{\text{СПВ}} = d_{\text{Кмакс}} \cdot \text{ctg}^2(\varphi_1 + \varphi_{\Pi}), \quad (21)$$

где  $d_{\text{Кмакс}}$  – максимальный диаметр комка почвы, м;  $\varphi_1$  – угол внутреннего трения комков почвы, град.

С учетом формулы (21) выражение, определяющее шаг спирали, запишется в виде:

$$t_{\text{СП}} = \text{tg}\Sigma \cdot \pi \left[ d_{\text{Кмакс}} \cdot \text{ctg}^2(\varphi_1 + \varphi_{\Pi}) \right]. \quad (22)$$

В связи с тем что каток-ложеобразователь машины для уборки лука-севка выполняет технологический процесс работы поточно с лукоуборочной машиной при значении поступательной  $v_{\text{Д}}$  скорости ее движения в пределах 2,8...5,6 км/ч, то при известном диапазоне значений  $\lambda = 6...9$  кинематического показателя спирального вальца, исходя из результатов более ранних исследований работы ротационных почвообрабатывающих машин для пропашных культур, обеспечивающих качественное измельчение взрыхленного почвенного

пласта, определим частоту  $n_{\text{СПВ}}$  вращения спирального вальца катка-ложеобразователя.

Известно, что

$$\lambda = \frac{v_0}{v_{\text{Д}}} = \frac{\omega_{\text{СПВ}} \cdot R_{\text{СПВ}}}{v_{\text{Д}}}, \quad (23)$$

исходя из того, что

$$\omega_{\text{СПВ}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{СПВ}}}{30}, \quad (24)$$

где  $n_{\text{СПВ}}$  – частота вращения спирального вальца катка-ложеобразователя, об/мин.

После подстановки выражения (24) в выражение (23) получаем:

$$n_{\text{СПВ}} = \frac{30nv_{\text{Д}}n\lambda}{\pi n R_{\text{СПВ}}}. \quad (25)$$

## Выводы

Теоретические исследования катка-ложеобразователя машины для уборки лука-севка позволили получить зависимости для определения диаметра (2) и шага (22) спирали, а также ширины (15) захвата, кинематического показателя (23) и частоты вращения (25) спирального вальца катка-ложеобразователя.

На основании проведенных теоретических исследований был изготовлен каток-ложеобразователь, 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 после его подбора с поверхности ложа, образованного катком-ложеобразователем, 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., Сибирев А.В. Машинная технология производства лука. М: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.
3. Каток-ложеобразователь лукоуборочной машины: пат. № 2601060 Россия: МПК А01 С11/02 / А.Г. Аксенов, А.В. Сибирев, С.Б. Прямов, М.А. Мосяков; заяв. 13.10.2015; опублик. 27.10.2016, Бюл. № 11.

4. Машина для уборки лука-севка: пат. 2585481 Россия: МПК А01 D17/00 / А.Г. Аксенов, С.А. Прямов, А.В. Сибирев; заяв. 24.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15.
5. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... докт. техн. наук. Саратов, 2005. 355 с.
6. Ларюшин А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... докт. техн. наук. Пенза, 2010. 426 с.
7. Максимов Л.М. Создание и обоснование параметров малогабаритных модульных корнеклубнеуборочных машин роторного типа: дис. ... докт. техн. наук. М., 1996. 426 с.
8. Мударисов, С.Г. Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01; ЧГАУ. Челябинск, 2007. 351 с.
4. Patent No 2585481 Rossiya, MPK A01 D17/00. Mashina dlya uborki luka-sevka [Seed onion cleaning machine]. A.G. Aksenov, S.A. Pryamov, A.V. Sibiryov. No 2585481; Zayav. 24.06.2015; Opubl. 27.05.2016, Byul. No 15.
5. Protasov, A.A. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh processov i tekhnicheskikh sredstv dlya uborki luka: dis. ... d-ra. tekhn. nauk [Improvement of technological processes and technical means for cleaning onions: dissertation for degree of Dr.Eng.]. Saratov, 2005. 355 p.
6. Laryushin, A.M. ENergosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskije sredstva dlya uborki luka: diss. ... d-ra. tekhn. nauk [Energy-saving technologies and technical means for cleaning onions: dissertation for degree of Dr.Eng.]. Penza, 2010. 426 p.
7. Maksimov L.M. Sozdanie i obosnovanie parametrov malogabaritnykh modul'nykh korneklubneuborochnykh mashin rotornogo tipa: diss. ... doktora tekhn. nauk [Creation and justification of parameters of compact rotary harvesting machines: dissertation for degree of Dr.Eng.]: L.M. Maksimov. Moscow, 1996. 426 p.
8. Mudarisov, S.G. Povyshenie kachestva obrabotki pochvy putem sovershenstvovaniya rabochih organov mashin na osnove modelirovaniya tekhnologicheskogo processa: diss. ... doktora tekhn. nauk [Improving the quality of tillage by improving the working bodies of machines based on the simulation of the technological process: dissertation for degree of Dr.Eng.]: 05.20.01. S.G. Mudarisov: CHGAU. CHelyabinsk, 2007. 351 p.

## References

1. Hvostov V.A., Rejngart E.H.S. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka [Machines for harvesting root crops and onions]. Moscow: 1995. 391 p.
2. Lobachevskij YA.P., Emel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibiryov A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka [Onion production technology]. Moscow: FGBNU FNAC VIM Publ., 2016. 168 p.
3. Patent No 2601060 Rossiya, MPK A01 D17/00. Mashina dlya uborki luka-sevka [Seed onion cleaning machine]. A.G. Aksenov, A.V. Sibiryov, S.A. Pryamov, M.A. Pramov. No 2601060; Zayav. 13.10.2015; Opubl. 27.10.2016, Byul. No 11.

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