

Научная статья
УДК 631.331.52
doi: 10.28983/asj.y2023i7pp153-158

**Обоснование параметров роторного лопастного устройства
для ориентации корнеплодов свеклы при их посадке**

**Владимир Александрович Овтов, Наталья Сергеевна Чиркова, Кирилл Андреевич Горшков,
Павел Денисович Цуренко**

Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза, Россия.
e-mail: ovtovvlad@mail.ru

Аннотация. Существующий рынок семян сахарной свеклы показывает существенную зависимость российских аграрных хозяйствующих субъектов, занимающихся выращиванием сахарной свеклы от поставок гибридов иностранных аграрных фирм, преимущественно стран европейского союза. Прежде всего это связано тем, что на протяжении последних десятилетий капитальные вложения в материально-техническую базу селекции и семеноводства со стороны государства были незначительны, что привело к старению используемой семеноводческой техники. Как известно, наиболее трудоемкой операцией технологического процесса, связанного с производством семян сахарной и кормовой свеклы, является их посадка, которая в наименьшей степени механизирована и требует больших затрат людского труда, затрачиваемого на отбор, ориентацию корнеплодов и подачу их в высаживаемые конуса посадочных аппаратов с последующей заделкой в почву острым концом вниз. В настоящее время для посадки маточников сахарной свеклы используется высадкопосадочная машина МВ-2,8, которую обслуживают четыре сажальщика. Следовательно, исследования, связанные с механизацией ориентации и подачи корнеплодов в высаживающие конуса без участия сажальщиков, являются актуальными. В статье представлена 3D-модель роторного лопастного устройства высадкопосадочной машины для ориентирования корнеплодов конической формы и подачи их в высаживающие конуса посадочного аппарата. При этом при длине лопасти 280 мм ее толщина составит 11,9 мм, а наибольший прогиб не более 3 мм, что обеспечит ориентирование корнеплодов и их подачу в высаживающие конуса посадочного аппарата.

Ключевые слова: свекла; зубчатая передача; лопастное ориентирующее устройство; моделирование, контактные напряжения.

Для цитирования: Овтов В. А., Чиркова Н. С., Горшков К. А., Цуренко П. Д. Обоснование параметров роторного лопастного устройства для ориентации корнеплодов свеклы при их посадке // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 153–158. <http://10.28983/asj.y2023i7pp153-158>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Justification of the parameters of the rotary vane device for the orientation
of beetroot during their planting**

Vladimir A. Ovtov, Natalya S. Chirkova, Kirill A. Gorshkov, Pavel D. Tsurenko

Penza State Agrarian University, Penza, Russia.
e-mail: ovtovvlad@mail.ru

Abstract. The existing market of sugar beet seeds shows a significant dependence of Russian agricultural entities engaged in the cultivation of sugar beet on the supply of hybrids of foreign agricultural firms, mainly from the European Union. First of all, this is due to the fact that over the past decades, capital investments in the material and technical base of breeding and seed production on the part of the state were insignificant, which led to the aging of the seed technology used. As is known, the most labor-intensive operation of the technological process associated with the production of sugar and fodder beet seeds is their planting, which is least mechanized and requires a lot of human labor spent on the selection, orientation of root crops and supply them into the planted cones of planting machines with subsequent embedding in the soil with the sharp end down. Currently, a planting machine MV-2.8 is used for planting sugar beet root crops, which is serviced by four people. Consequently, research related to the mechanization of orientation and feeding of root crops into planting cones without the participation of planters is relevant. The article presents a 3D model of a rotary vane device of a planting machine for orient-





ing conical root crops and feeding them into the planting cones of the planting apparatus. At the same time, with a vane length of 280 mm, its thickness will be 11.9 mm, and the greatest deflection is no more than 3 mm, which will ensure the orientation of root crops and their supply to the planting cones of the planting apparatus.

Keywords: beet; gear transmission; vane orienting device; modeling, contact stresses.

For citation: Ovtov V. A., Chirkova N. S., Gorshkov K. A., Tsurenko P. D. Justification of the parameters of the rotary vane device for the orientation of beetroot during their planting // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(7):153–158. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i7pp153-158>.

Введение. Сахарная промышленность РФ в последние годы РФ в основном производит сахар из сахарной свеклы, хотя в начале 2000 г. до 40 % сахара производилось из тростникового сахара-сырца. Помимо сахара как основного продукта из сахарной свеклы в качестве побочных продуктов получают мелассу (патоку) и жом, используемый на корм животных, мелассу в дальнейшем используют для получения спирта, органических кислот, а также в качестве корма для животных. Более 90 % площадей в России, занятые под сахарную свеклу, приходится на три федеральных округа: Центрально-черноземный (более 53 %), Приволжский (более 20 %) и Южный (около 20 %).

Крупные агрохолдинги, крестьянские (фермерские) хозяйства и другие хозяйствующие субъекты различных форм собственности, на протяжении ряда лет занимающиеся выращиванием сахарной свеклы, полностью обеспечивают ее товарное производство, необходимое для производства сахара перерабатывающими сахарными заводами покрывающее потребности населения страны [1–6]. В то же время следует отметить, что в качестве семенного материала для товарного производства сахарной свеклы хозяйствующие субъекты в РФ в основном используют гибриды фирм иностранного производства, прежде всего ЕС, что в свою очередь увеличивает себестоимость и снижает рентабельность производства, а также сказывается на продовольственной безопасности страны. Основными производителями и поставщиками гибридов семян сахарной свеклы являются фирмы стран Евросоюза, находящиеся в Бельгии, Германии, Франции, Польше и Италии. Данные агрофирмы поставляют более 70 % от общего объема гибридов семян, потребляемых отечественными сельскохозяйственными товаропроизводителями, которые занимаются выращиванием сахарной свеклы. При этом отечественные производители семян и гибридов сахарной свеклы российской селекции и семеноводства являются государственными научно-исследовательскими центрами, которым в настоящее время довольно трудно конкурировать с иностранными фирмами [5–11]. В дальнейшем существующая ситуация рынка семян может отрицательно сказаться на отрасли овощеводства в целом и в частности касаясь производства сахарной свеклы в случае принятия деструктивных решений Евросоюзом и США относительно ограничения поставок гибридов семян сахарной свеклы в РФ. В настоящее время технологический процесс ориентирования маточных корнеплодов и подача их в высаживающие аппараты в высадкопосадочных машинах ВПС 2,8А, МВ-2,8, «Manchard», «Accord» А-831 (Германия), «4SAS-62.5» (Чехия), «Ляннен Техтаат» (Финляндия) осуществляется вручную сажальщиками [12, 13]. Следовательно, исследования, направленные на снижение затрат человеческого труда, связанного с ориентированием корнеплодов и подачей их в высаживающие аппараты, не теряют своей актуальности.

Методика исследований. Ориентирующее устройство играет значимую роль при посадке высадков сахарной свеклы, так как от его работы зависит ориентированная поштучная подача маточников свеклы в высаживающие конуса посадочного аппарата хвостовой частью вниз [12–20]. В Пензенском аграрном университете разработана конструкция роторного лопастного устройства, 3D-модель которого представлена на рис. 1 [21].

Ориентирующее устройство посадочной машины маточников свеклы представляет собой конструкцию, которая включает в себя раму 1, ведущий 2 и ведомый 3 роторы, которые содержат по четыре лопасти, то есть столько, сколько число высаживающих конусов посадочного аппарата. Роторы установлены на раме параллельно и на одном уровне и при этом вращаются навстречу друг другу с одинаковой угловой скоростью ($\omega_2 = \omega_3$), которая обеспечивается зубчатой передачей. Для того чтобы обеспечивалось ориентирование с высокой долей вероятности (не менее 90 %), должно соблюдаться условие, что максимальный зазор $S_{\max}$ между лопастями двух соседних

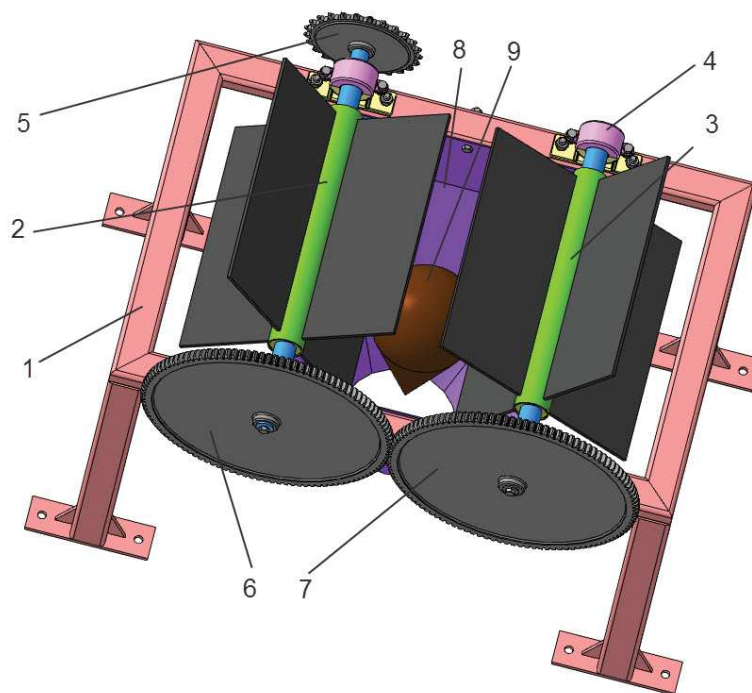


Рис. 1. 3D-модель ориентирующего устройства: 1 – рама; 2 – ведущий лопастной ротор; 3 – ведомый лопастной ротор; 4 – корпуса подшипников; 5 – звездочка ведущая; 6 – ведущее зубчатое колесо; 7 – ведомое зубчатое колесо; 8 – приемный лоток; 9 – корнеплод

роторов составляет $S_{\max} = \Delta_{\max} + (3...4 \text{ мм})$, в тот момент когда совмещенные лопасти ведомого и ведущего роторов, когда находятся в горизонтальной плоскости на одном уровне.

При этом максимальный прогиб лопасти $\Delta_{\max}$ от действующей внешней нагрузки создаваемой весом корнеплода не должен превышать 3 мм и определяется по формуле

$$\Delta_{\max} = \frac{Pl^3}{3EJ_x} = \frac{mgl^3}{3EJ_x}, \quad (1)$$

где l – длина лопасти, мм; P – вес корнеплода, m – масса корнеплода кг, g – ускорение свободного падения м/с^2 ; E – модуль упругости материала лопасти, МПа, J_x – осевой момент инерции поперечного сечения лопасти, мм^4 .

Лопастное ориентирующее устройство посадочной машины для посадки маточников сахарной свеклы имеющих конусную форму работает следующим образом. Корнеплоды поштучно захватываются одной лопастью ведущего ротора 2 и располагаются в горизонтальном положении между его двумя соседними лопастями, вдоль его оси вращения. При вращении ведущего ротора, когда его лопасть с корнеплодом повернется на некоторый угол от горизонтального положения, превышающий угол качения корнеплода, корнеплод начнет перекачиваться по поверхности лопасти и займет устойчивое положение между двумя совмещенными лопастями ведущего 2 и ведомого 3 роторов, которые образуют при этом V-образный желоб. При дальнейшем синхронном вращении роторов навстречу друг к другу за счет зубчатой передачи, корнеплод разворачивается хвостовой частью вниз на уровне плоскости максимального диаметра между двумя лопастями ведущего и ведомого роторов. Ориентация корнеплода хвостовой частью вниз происходит за счет конусной формы корнеплода и смещения центра тяжести корнеплода от плоскости наибольшего диаметра в сторону хвостовой части.

Результаты исследований. Исследования физико-механических свойств маточных корнеплодов показывают, что длина корнеплодов составляет от 123 до 255 мм, а диаметр от 55 до 120 мм [12]. Ширина лопасти (L), рис. 2, должна составлять не менее $(0,9...1,0)d$ максимального диаметра свеклы, при этом максимальный размер диаметра высаживаемых корнеплодов в плоскости наибольшего диаметра не превышает 120 мм. Поперечное сечение лопасти представляет собой прямоугольник с шириной равной $b = 280 \text{ мм}$, что определяется максимальной длиной высаживаемого корнеплода.



Осевой момент инерции поперечного сечения лопасти J_x , мм⁴:

$$\Delta_{\max} = \frac{b \cdot h^3}{12}. \quad (2)$$

Высота поперечного сечения лопасти при допускаемом максимальном прогибе $\Delta_{\max} = 3$ мм составит

$$h = \sqrt[3]{\frac{4mgl^3}{bE\Delta_{\max}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,33 \cdot 9,81 \cdot 60^3}{280 \cdot 7,9 \cdot 3}} = 11,9 \text{ мм}. \quad (3)$$

С учетом диаметра обечайки ротора, и что длина лопасти может составлять $(0,9 \dots 1,0)120 = 108 \dots 120$ мм, межосевое расстояние a определится по формуле

$$a = d_r + 2L + S_{\max} = 40 + 2 \cdot 108 + 7 = 263 \text{ мм}. \quad (4)$$

Для привода ведущего ротора от посадочного аппарата применяется цепная передача, а вращение роторов с лопастями навстречу друг к другу осуществляется зубчатыми колесами.

При работе открытых зубчатых передач и при ресурсной (одноразовой) смазке наблюдается износ зубьев на ножках и головках, который возрастает с увеличением контактных напряжений и удельного скольжения. Так как передача открытая, то износ сильно увеличивается при загрязнении зубчатой передачи абразивными частицами. Основным критерием расчета открытых передач является контактная и изгибная выносливость, и статическая прочность зубьев, так как это связано с разрушением зубьев под действием переменных сил.

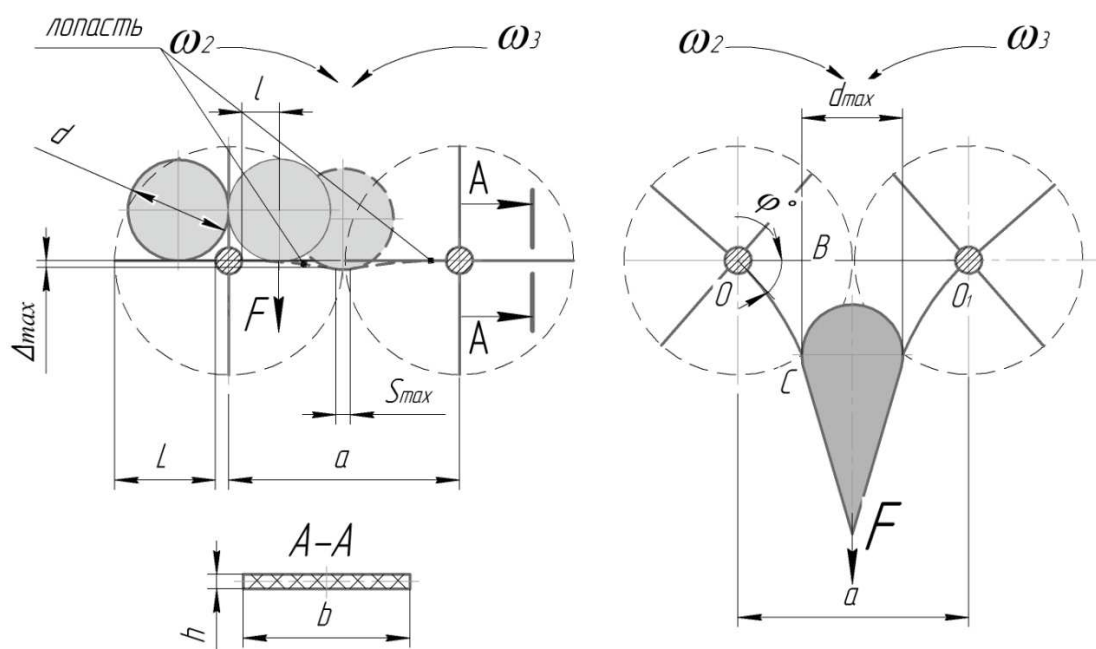


Рис. 2. Геометрические параметры ориентирующего устройства

Проектирование открытой зубчатой передачи проводилось с использованием САПР КОМПАС 3D.

Исходными параметрами для расчета зубчатой передачи роторного лопастного ориентирующего устройства являлись передаточное отношение $u = 1$, модуль $m = 2,5$ мм, стандартное межосевое расстояние $a = 280$ мм и величина вращающего момента на ведущем валу ротора $T = 1,4$ Нм.

Расчетные значения максимальных контактных напряжений ($\sigma_{H\max}$) и максимальных напряжений изгиба ($\sigma_{F\max}$) значительно, ниже допускаемых значений $\sigma_{H\max} = 280,3 \text{ МПа} < [\sigma_{H\max}] = 1050 \text{ МПа}$ и $\sigma_{F\max} = 71,6 \text{ МПа} < [\sigma_{F\max}] = 1096 \text{ МПа}$. При этом геометрические параметры спроектированной зубчатой передачи обеспечивают качественное зацепление необходимое для надежной долговечной работы роторного ориентирующего устройства.



Заключение. Обоснованы геометрические параметры роторного лопастного ориентирующего устройства и спроектирована открытая зубчатая передача. Спроектированное роторное ориентирующее устройство машины для посадки высадков свеклы позволяет обеспечивать поштучный ориентированный выход корнеплодов хвостовой частью вниз в высаживающие конуса посадочного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарев О.Н., Семов И.Н., Старостин И.А. К вопросу технико-технологического обеспечения селекции и семеноводства сахарной свеклы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т 14. № 4-2 (56). С. 25–30.
2. Мощность привода роторного ориентирующего устройства / В.А. Овтов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 92–94.
3. Ovtov V.A., Chirkova N.S. Rotary paddle orienting device for planting root crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 марта 2021 года. Omsk City, 2022. P. 012058. DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012058.
4. Евстратов А.И., Бартенев И.И. Удовиченко, Н.М. Посадка маточных корнеплодов // Сахарная свекла. 2000. № 4-5. С. 29–31.
5. Овтов В.А., Васюнин М.С., Нагорнов А.Е. Техничко-экономическое обоснование высадкопосадочной машины с ориентирующими вальцами // Аграрный научный журнал. 2020. № 4. С. 92–95.
6. Ларюшин Н.П., Кухарев О.Н., Оликов В.П. Посадочный аппарат с ориентирующим устройством // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 9. С. 13–14. EDN VWYRTB.
7. Емельянов П.А., Знаев Е.И. Экспериментальные исследования ориентирования маточников сахарной свёклы дисковым ориентирующим устройством // Наука и образование - сельскому хозяйству: Сборник материалов науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Пензенской государственной сельскохозяйственной академии, Пенза, 11–12 октября 2006 года. Пенза, 2006. С. 213–215. EDN YJLFQT.
8. Емельянов П.А., Знаев Е.И. Средства механизации посадки маточных корнеплодов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 2. С. 10–12.
9. Ларюшин Н.П., Кухарев О.Н., Оликов В.П. Устройство для механизированной посадки маточных корнеплодов // Сахарная свекла. 2005. № 5. С. 35–37.
10. Емельянов П.А. Устройство для ориентации маточников сахарной свеклы при высадке // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1999. № 2. С. 12.
11. Кухарев О.Н., Оликов В.П., Ларюшин Н.П. Правильная ориентация маточников сахарной свеклы // Ульяновские чтения – 2005: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения профессора Ульянова А.Ф., Саратов, 18–19 мая 2005 года. Ч. 2. Саратов, 2005. С. 53–56. EDN XNDMRF.
12. Знаев Е.И. Разработка устройств поштучной ориентированной подачи маточников сахарной свеклы к посадочному аппарату высадкопосадочной машины: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2008. 223 с.
13. Оликов В.П. Разработка и обоснование технологических и конструктивно-режимных параметров ориентирующего устройства для посадки высадков сахарной свеклы: дис... канд. техн. наук: 05.20.01. Пенза, 2004. 158 с.
14. Ovtov V.A., Chirkova N.S., Gudin V.M. Auger orienting device for planting sugar beet root crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 27–28 августа 2020 года. Zernograd, Rostov Region, 2021. P. 012017.
15. Теоретические исследования геометрических и кинематических параметров вальцового транспортирующего устройства / В.А. Овтов [и др.] // Нива Поволжья. 2020. № 1(54). С. 113–117.
16. Емельянов П.А., Овтов В.А. Конструкционные параметры скребкового транспортера для выборки маточников сахарной свеклы из бункера // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. С. 34–36.
17. Овтов В. А., Емельянов П. А., Аксенов А. Г. Обоснование геометрических параметров бункера луковой сажалки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 6. С. 19–20. EDN TXOXYV.
18. Ларюшин Н. П., Кухарев О. Н., Оликов В. П. Устройство для механизированной посадки маточных корнеплодов // Сахарная свекла. 2005. № 5. С. 35–37. EDN UXNRHJ.
19. Крыжко В.Н., Зыков П.Ю., Тарабрин А.Е. Концепция развития механизации семеноводства // Сахарная свекла. 2001. № 1. С. 23–24.
20. Овтов В.А. Обоснование кинематических параметров вальцового транспортирующего устройства при посадке маточников сахарной свеклы // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 36–37. EDN VKWHQD.



REFERENCES

1. Kukharev O.N., Semov I.N., Starostin I.A. On the issue of technical and technological support of selection and seed production of sugar beet. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 2019; 14; 4–2 (56): 25–30. (In Russ.).
2. Drive power of the rotary orienting device / V.A. Ovtov et al. *The agrarian scientific journal*. 2021; 7: 92–94. (In Russ.).
3. Ovtov V.A., Chirkova N.S. Rotary paddle orienting device for planting root crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Omsk City, March 29–30, 2021. Omsk, 2022: 012058. DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012058.
4. Evstratov A.I., Bartenev I.I. Udovichenko, N.M. Planting uterine root-fruits. *Sugar beet*. 2000; 4–5: 29–31. (In Russ.).
5. Ovtov V.A., Vasyunin M.S., Nagornov A.E. Feasibility study of a landing machine with orienting rollers. *The agrarian scientific journal*. 2020; 4: 92–95. (In Russ.).
6. Laryushin N.P., Kukharev O.N., Olikov V.P. Landing apparatus with orienting device. *Tractors and agricultural machines*. 2005; 9: 13–14. EDN VWYRTB. (In Russ.).
7. Emelyanov P.A., Znaev E.I. Experimental studies of the orientation of sugar beet queen cells with a disk orienting device. *Science and education for agriculture*. Penza, 2006: 213–215. EDN YJLFQT. (In Russ.).
8. Emelyanov P.A., Znaev E.I. Means of mechanization of planting of uterine root-fruits. *Tractors and agricultural machines*. 2005; 2: 10–12. (In Russ.).
9. Laryushin N.P., Kukharev O.N., Olikov V.P. Device for mechanized planting of uterine roots. *Sugar beet*. 2005; 5: 35–37. (In Russ.).
10. Emelyanov P.A. A device for orientation of sugar beet mother liquors during planting. *Mechanization and electrification of agriculture*. 1999; 2: 12. (In Russ.).
11. Kukharev O.N., Olikov V.P., Laryushin N.P. Correct Orientation of Sugar Beet Queen Cells. *Ulyanovsk Readings – 2005*. Saratov, May 18–19, 2005. Part 2. Saratov, 2005: 53–56. EDN XNDMRF. (In Russ.).
12. Znaev E.I. Development of devices for piece-by-piece oriented supply of sugar beet mothers to the landing machine of a landing machine. Penza, 2008. 223 p. (In Russ.).
13. Olikov V.P. Development and substantiation of technological and constructive-mode parameters of the orienting device for planting sugar beet plantings. Penza, 2004. 158 p. (In Russ.).
14. Ovtov V.A., Chirkova N.S., Gudim V.M. Auger orienting device for planting sugar beet crop roots. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Zernograd, Rostov Region, August 27–28, 2020. Zernograd, Rostov Region, 2021: 012017. (In Russ.).
15. Theoretical studies of geometric and kinematic parameters of a roller conveyor / V.A. Ovtov et al. *Niva of the Volga region*. 2020; 1(54): 113–117. (In Russ.).
16. Emelyanov P.A., Ovtov V.A. Structural parameters of the scraper conveyor for the selection of sugar beet mother liquors from the bunker. *Tractors and agricultural machines*. 2013; 2: 34–36. (In Russ.).
17. Ovtov V.A., Emelyanov P.A., Aksenov A.G. Substantiation of the geometrical parameters of the onion planter bunker. *Tractors and agricultural machines*. 2015; 6: 19–20. EDN TXOXYV. (In Russ.).
18. Laryushin N. P., Kukharev O. N., Olikov V. P. Device for mechanized planting of uterine root crops. *Sugar beet*. 2005; 5: 35–37. EDN UXNRHJ. (In Russ.).
19. Kryzhko V.N., Zykov P.Yu., Tarabrin A.E. The concept of development of mechanization of seed production. *Sugar beet*. 2001; 1: 23–24. (In Russ.).
20. Ovtov V.A. Substantiation of the kinematic parameters of the roller transporting device when planting sugar beet mother liquors. *Tractors and agricultural machines*. 2016; 2: 36–37. EDN VKWHQD. (In Russ.).
21. Patent No. 208464 U1 RF. Rotor-vane orienting device of a landing machine / V.A. Ovtov et al. Appl. 08/05/2021; publ. 12/21/2021. Bull. No. 36.

Статья поступила в редакцию 4.11.2022; одобрена после рецензирования 28.12.2022; принята к публикации 12.01.2023.

The article was submitted 4.11.2022; approved after reviewing 28.12.2022; accepted for publication 12.01.2023.

