

АГРОИНЖЕНЕРИЯ
4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научная статья
УДК 633.63:631.171
doi: 10.28983/asj.y2024i4pp115-120

**Анализ напряженно-деформированного состояния оси
опорного колеса сажалки луковых культур**

**Владимир Александрович Овтов, Кирилл Андреевич Горшков,
Дмитрий Валерьевич Гришин, Валерий Константинович Усанкин**
Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза. Россия
e-mail: OvtovVlad@mail.ru

Аннотация. Одной из задач овощеводства является дальнейшее увеличение темпов производства овощей на основе повышения урожайности выращиваемых культур. Важнейшим резервом роста урожайности овощей и в частности лука репки является применение современных технологий, основанных на использовании и правильной эксплуатации сельскохозяйственной овощеводческой техники. На настоящем этапе технологическая и техническая оснащенность отечественных производителей овощных культур в значительной степени зависит от зарубежных производителей сельскохозяйственной техники. Следовательно, исследования, связанные с проектированием рабочих органов и агрегатов овощеводческой техники, не теряют своей актуальности. В статье представлена конструкция опорного колеса сажалки луковых культур. Определены нагрузки, действующие на ось опорного колеса сажалки луковых культур. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния оси опорного колеса с использованием модуля APM FEM системы автоматизированного проектирования Компас 3-D.

Ключевые слова: посадка; анализ напряженно-деформированного состояния; моделирование; ось; опорное колесо; лук; напряжения

Для цитирования: Овтов В. А., Горшков К. А., Гришин Д. В., Усанкин В. К. Анализ напряженно-деформированного состояния оси опорного колеса сажалки луковых культур // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 115–120. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp115-120>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Analysis of the stress-strain state axis of the support wheel
of the onion crop planter**

Vladimir A. Ovtov, Kirill A. Gorshkov, Dmitry V. Grishin, Valery K. Usankin
Penza State Agrarian University, Penza, Russia
e-mail: OvtovVlad@mail.ru

Abstract. One of the tasks of vegetable growing is to further increase the rate of vegetable production, based on an increase in the yield of cultivated crops. The most important reserve for the growth of vegetable yields, and in particular turnip onions, is the use of modern technologies based on the use and proper operation of agricultural vegetable growing equipment. At the present stage, the technological and technical equipment of domestic producers of vegetable crops largely depends on foreign manufacturers of agricultural machinery. Consequently, research related to the improvement of working bodies and aggregates of agricultural machines for the industrial production of vegetable products does not lose its relevance. The article presents the design of the support wheel for planting onion crops. The loads acting on the axis of the support wheel of the planting of onion crops are determined. The stress-strain state of the support wheel axis was analyzed using the APM FEM module of the Compass 3-D automated design system.

Keywords: planting; stress-strain state analysis; modeling; axle; support wheel; onion; stresses.

For citation: Ovtov V. A., Gorshkov K. A., **Grishin** D.V., Usankin V. K. Analysis of the stress-strain state axis of the support wheel of the onion crop planter // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2024;(4):115–120. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp115-120>.





Введение. Отраслью сельского хозяйства, обеспечивающей население продуктами питания с высокой биологической ценностью, является овощеводство. Общий объем отечественного производства овощной продукции, обеспечивающий продовольственную безопасность страны должен составлять не менее 75 % от общего потребления овощей в стране.

Производство овощей российскими сельхозтоваропроизводителями с высокими питательными и лечебными свойствами должны обеспечивать сорта и гибриды отечественной селекции, которые адаптированы к климатическим условиям выращивания, резким колебаниям температуры, возможным заморозкам и т.д. Отечественные сорта лука репчатого обладают высокой лёжкостью, скороспелостью, хорошей вызреваемостью и имеют высокое содержание сухого вещества до 18–20 %.

Важным фактором, оказывающим существенное влияние на производство лука-репки, является то, что используемая овощеводческая техника в большинстве своем устарела или выработала ресурс и требует модернизации и обновления [1–4].

Получение запланированных урожаев овощных культур и в частности товарного лука обеспечивается технологией его выращивания, в которой основополагающей операцией является его посадка [4–10]. При механизированной посадке лука-севка важную роль играет его ориентированная посадка донцем вниз с последующей заделкой в почве с сохранением первоначального положения [9–14]. Качественная работа сажалки лука-севка, обеспечивающая технологический процесс посадки во многом определяется надежной работой узлов и механизмов, из которых она состоит.

Материалы и методы. Методологической основой проведенных исследований является использование системного подхода объектно-ориентированного анализа и синтеза, направленного на повышение надежности работы деталей и узлов сажалки луковых культур. Исследование характеристик прочности и жесткости оси колеса сажалки проводили с использованием классических законов механики, сопротивления материалов, метода конечных элементов (МКЭ) как основного метода, лежащего в основе подавляющего большинства современных программных комплексов, предназначенных для выполнения прочностных расчетов, а также напряженно-деформированного анализа с использованием АРМ FEM для КОМПАС-3D. Выполненный анализ имеющихся технических решений позволил выявить недостатки, оказывающие влияние на качество работы сажалок луковых культур. Проектирование узлов и механизмов сажалки луковых культур осуществлялось применением метода трехмерного моделирования на базе булевых операций (вычитания, объединения, пересечения) с использованием отечественной САПР КОМПАС-3D.

Результаты исследований. Конструкция спроектированной и смоделированной сажалки луковых культур представлена на рисунке 1.

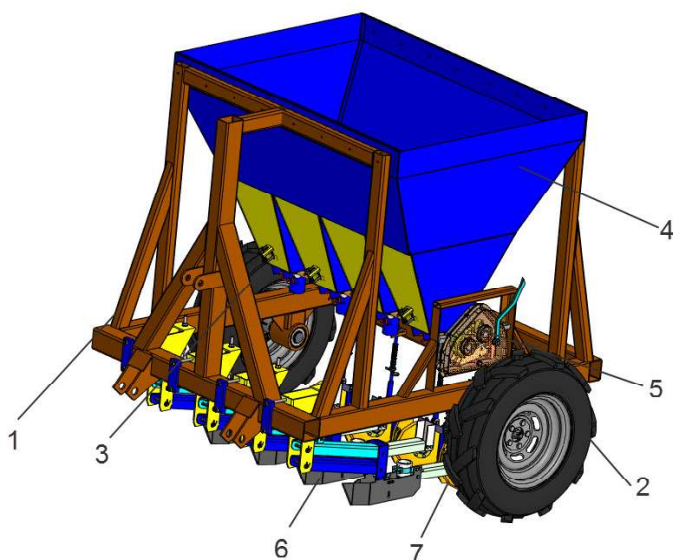


Рисунок 1 – Трехмерная модель сажалки лука-севка:
1 – рама; 2 – приводное колесо; 3 – опорное колесо; 4 – бункер;
5 – бесступенчатый редуктор; 6 – сошник; 7 – заделывающий орган

Figure 1 – Three-dimensional model of onion set planter:
1 – frame; 2 – drive wheel; 3 – support wheel; 4 – bunker;
5 – continuously variable gearbox; 6 – opener; 7 – closing organ

Сажалка содержит раму, бункер, сошники, заделывающие органы, опорное и приводное колесо. На валу приводного колеса закреплена ведущая звездочка, от которой через цепную передачу и бесступенчатый редуктор осуществляется привод высаживающих аппаратов.

На рисунке 2 представлена 3-D модель опорного колеса сажалки для посадки луковых культур. Опорное колесо с осью имеет шпоночное соединение, а также посадочные места по подшипники, и при этом фиксация одного подшипника от осевого перемещения осуществляется с помощью с помощью заплечика на торце оси и буртика, выполненного в корпусе. При этом фиксация подшипников от осевого перемещения колеса осуществляется с помощью распорной втулки и буртиков, выполненных в корпусе ступицы, а ступица колеса с помощью гайки накрунутой на выходной конец оси. Фиксация второго подшипника осуществляется с помощью буртика, выполненного в корпусе и распорной втулки, упирающейся во внутреннее кольцо подшипника с одной стороны и в ступицу с другой, при этом ступица фиксируется гайкой накрунутой на выходной конец оси [15].

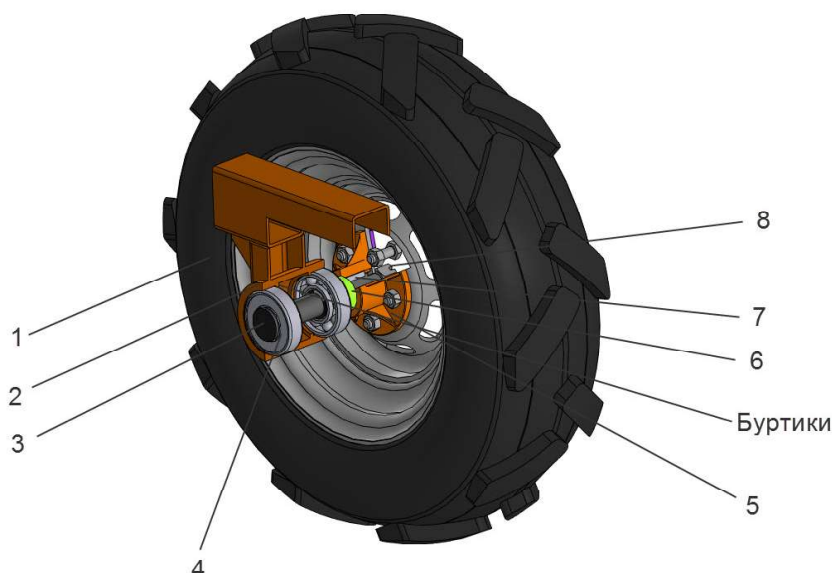


Рисунок 2 – Трехмерная модель опорного колеса сажалки луковых культур:

**1 – опорное колесо; 2 – корпус подшипников; 3 – подшипник; 4 – ось;
5 – упорный буртик; 5 – втулка; 7 – шпонка; 8 – гайка**

Figure 2 – Three-dimensional model of the support wheel of an onion planter:

**1 – support wheel; 2 – bearing housing; 3 – bearing; 4 – axis;
5 – thrust collar; 5 – bushing; 7 – key; 8 – nut**

Проведенные проектировочные расчеты позволили определить объем бункера сажалки луковых культур, который составляет 0,4 м³. Заполненный объем бункера посадочным материалом будет иметь массу $m_{\text{л}} = 184$ кг. Собственная масса сажалки луковых культур составляет $m_{\text{с}} = 296$ кг.

Определим общий вес сажалки луковых культур загруженной посадочным материалом по формуле

$$P_{\text{с}} = (m_{\text{л}} + m_{\text{с}})g = (184 + 296) \times 9,81 = 4709 \text{ Н.}$$

Так как сажалка луковых культур навесная, то, следовательно, только часть ее веса приходится на колеса, и для определения нагрузки, приходящейся на колеса, составим расчетную схему, представленную на рисунке 3, где точка А – это точка крепления сажалки на навеску трактора.

Уравнение статического равновесия относительно точки А.

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0; \\ P_{\text{с}} \cdot a + F_{\text{к}}(a + b) &= 0; \\ F_{\text{к}} &= -\frac{P_{\text{с}} a}{a + b} = -\frac{4709 \cdot 836}{836 + 180} = -3874 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Таким образом, нагрузка, приходящаяся на одно колесо, составит

$$F_{\text{к}} = 3874/2 = 1937 \text{ Н.}$$



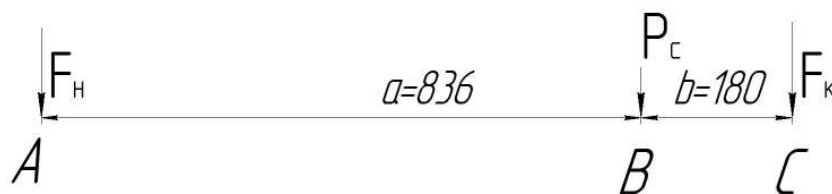


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения нагрузки на колеса

Figure 3 – Calculation diagram for determining the load on the wheels

На рисунке 4 представлена 3-D модель оси опорного колеса, загруженной внешней нагрузкой и реактивной нагрузкой со стороны подшипников.

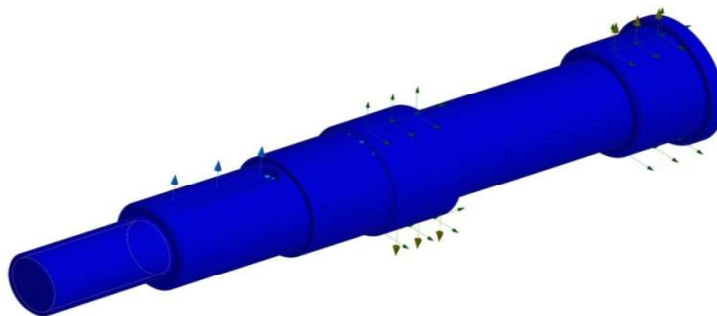


Рисунок 4 – Трехмерная модель оси опорного колеса

Figure 4 – Three-dimensional model of the support wheel axis

Напряженно-деформированный анализ состояния оси опорного колеса проводили с использованием модуля APM FEM для КОМПАС-3D.

Результаты статического расчета напряженно-деформированного состояния оси опорного колеса сажалки луковых культур представлены на рисунках 5, 6.

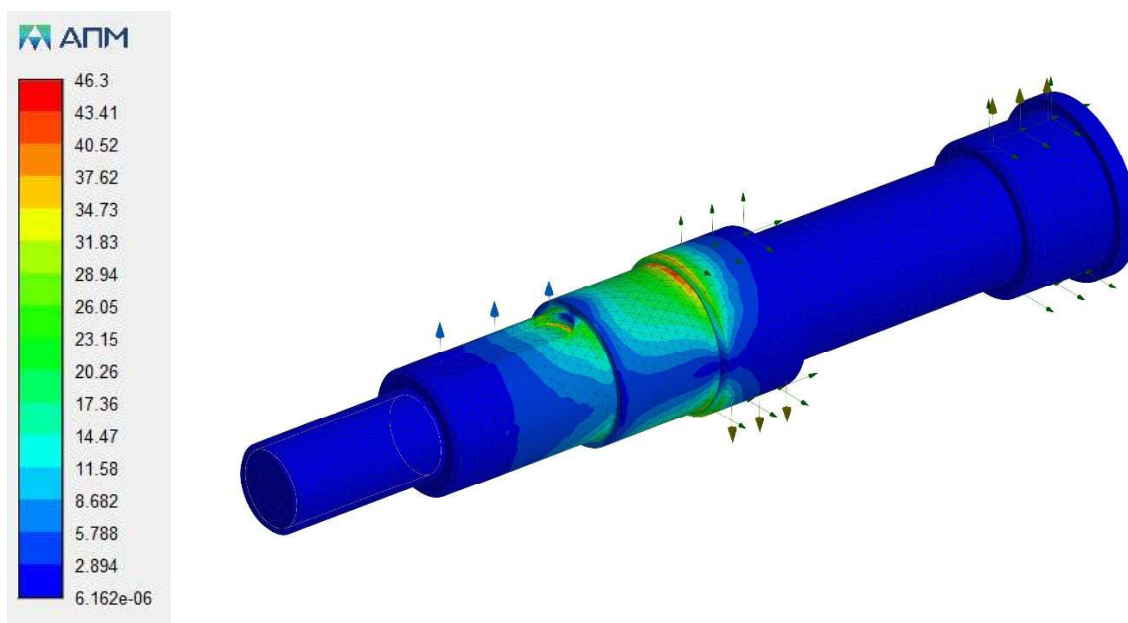


Рисунок 5 – Эквивалентные напряжения оси опорного колеса сажалки

Figure 5 – Equivalent stresses of the planter support wheel axis

Анализ полученных результатов напряженно-деформированного состояния оси при действующих нагрузках показывает, что максимальные значения эквивалентных напряжений по четвертой теории прочности возникают в месте перехода от одного диаметра оси к другому диаметру, а именно под посадочный размер подшипника, и достигают 46,3 МПа, что значительно меньше предела текучести для стали марки «Сталь 45». При этом минимальный коэффициент запаса по пределу прочности составил 9,92 (который представляет отношение предела прочности матери-



ала к рабочим максимальным напряжениям), а минимальное значение коэффициента запаса по пределу текучести составляет 9,81.

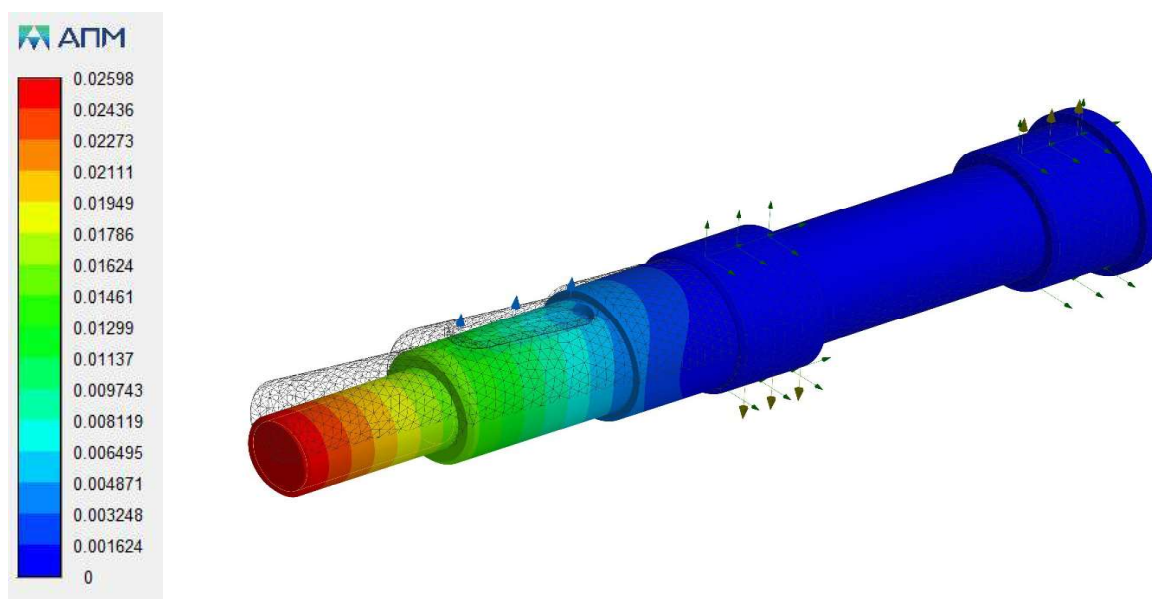


Рисунок 6 – Суммарные перемещения оси опорного колеса сажалки

Figure 6 – Total movements of the planter support wheel axis

Анализируя полученные результаты, приходим к выводу, что максимальные перемещения свободного резьбового конца оси, на который накручена гайка при действующих на неё нагрузках относительно ее горизонтального положения, составляют около 0,026 мм, следовательно, жесткость оси опорного колеса сажалки луковых культур обеспечена.

Заключение. Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния оси опорного колеса позволяет сделать вывод, что прочность и жесткость спроектированной и смоделированной оси опорного колеса достаточны для ее надежной работы. Таким образом, опорное колесо обеспечит надежную работу сажалки луковых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А. Г. Обоснование и разработка адаптивных машинных технологий и технических средств для возделывания луковых культур: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2021. 281 с.
2. Инновационное технологическое обеспечение производства овощных культур / А. С. Дорохов [и др.]. М., 2022. 318 с.
3. Ларюшин Н.П., Никульшин В.П., Поликанов А.В., Есин М.В. Для посева бульбочек и однозубок озимого чеснока нужны специальные сеялки // Картофель и овощи. 2008. № 8. С. 18–19.
4. Ларюшин Н.П., Пивоваров В.Ф., Кухарев О.Н., Вершинин Ю.А. Комплекс машин для производства лука по ресурсосберегающим технологиям // Овощи России. 2019. № 6(50). С. 141–145.
5. Овтов В.А., Емельянов П.А., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Дозатор-сводоразрушитель бункера луковой сеялки // Сельский механизатор. 2019. № 3. С. 11.
6. Овтов В.А., Емельянов П.А., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Теоретические исследования щеточного устройства для заделки лукович в борозде // Нива Поволжья. 2018. № 1(46). С. 103–108.
7. Овтов В.А., Барабанов А.С. Модернизация луковой сажалки щеточным заделывающим устройством // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 3. С. 8–11.
8. Патент на полезную модель № 219831 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/00, A01B 71/04. Сажалка лука-севка: № 2022126986: заявл. 17.10.2022; опубл. 09.08.2023 / В.А. Овтов, К.А. Горшков, Н.С. Чиркова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет». – EDN RRTZWW.
9. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. 51 (3). P. 12.
10. El-Rahman A., Magda M. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets // *J. Soil Sci. Agric. Eng.* 2011;2,213–226. [CrossRef].
11. James L. Brewster. Onions and Other Vegetable Alliums: 2-nd edition. Cambridge / England. CABI, 2008. 432 p.





12. Ovtov, V. A. Auger orienting device for planting sugar beet root crops / V.A. Ovtov, N.S. Chirkova, V.M. Gudin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 27–28 августа 2020 года. Zernograd, Rostov Region, 2021. P. 012017.

13. Ovtov, V.A. The pulse stepless onion planter gear reducer / V.A. Ovtov, K.M. Mitin, P.D. Tsurenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021), Tashkent, 12–14 мая 2021 года. Tashkent: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2021. P. 012009.

14. Ovtov V.A. Construction and Design Parameters of the Reducer-Variator // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2021. Vol. 14. No. 3. P. 202–204.

15. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / I. Dandekar [et al.] // Journal of Information and Computational Science. 2019. Vol. 9. Iss. 12. P. 333–337.

REFERENCES

1. Aksenov A. G. Justification and development of adaptive machine technologies and technical means for the cultivation of onion crops: specialty 05.20.01 “Technologies and means of agricultural mechanization: Ph.D. dissertation. Moscow, 2021. 281 p.

2. Innovative technological support for the production of vegetable crops / A. S. Dorokhov et al. Moscow, 2022. 318 p.

3. Laryushin N.P., Nikulshin V.P., Polikanov A.V., Esin M.V. To sow bulbous and single clove winter garlic, special seeders are needed. *Potatoes and Vegetables*. 2008;(8):18–19.

4. Laryushin N.P., Pivovarov V.F., Kukharev O.N., Vershinin Yu.A. A set of machines for onion production using resource-saving technologies. *Vegetables of Russia*. 2019;6(50):141–145.

5. Ovtov V.A., Emelyanov P.A., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Dispenser-destructer of the onion seeder hopper. *Rural Machine Operator*. 2019;(3):11.

6. Ovtov V.A., Emelyanov P.A., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Theoretical studies of a brush device for embedding bulbs in a furrow. *Niva Povolzhya*. 2018;1(46):103–108.

7. Ovtov V.A., Barabanov A.S. Modernization of an onion planter with a brush embedding device. *Repair. Recovery. Modernization*. 2020;(3):8–11.

8. Utility model patent No. 219831 U1 Russian Federation, IPC A01C 7/00, A01B 71/04. Onion set planter: No. 2022126986: app. 10/17/2022: publ. 09.08.2023 / V.A. Ovtov, K.A. Gorshkov, N.S. Chirkova; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Penza State Agrarian University». EDN RRTZWW.

9. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020;51(3):12.

10. El-Rahman A., Magda M. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets. *J. Soil Sci. Agric. Eng.* 2011;(2):213–226 [CrossRef].

11. James L. Brewster. Onions and Other Vegetable Alliums: 2nd edition. Cambridge/England. CABI, 2008. 432 p.

12. 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, 2021:012017.

13. Ovtov V.A., Mitin K.M., Tsurenko P.D. The pulse stepless onion planter gear reduce. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021)*, Tashkent, May 12–14, 2021. Tashkent: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2021:012009.

14. Ovtov V.A. Construction and design parameters of the reducer-variator. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2021;14(3):202–204.

15. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / I. Dandekar et al. *Journal of Information and Computational Science*. 2019;9(12):333–337.

Статья поступила в редакцию 12.12.2023; одобрена после рецензирования 28.01.2024; принята к публикации 2.02.2024.
The article was submitted 12.12.2023; approved after reviewing 28.01.2024; accepted for publication 2.02.2024.