

Научная статья
УДК 633.63:631
doi: 10.28983/asj.y2023i3pp131-135

Проверка подшипников ведомого вала бесступенчатого редуктора на долговечность

Владимир Александрович Овтов, Павел Денисович Цуренко, Кирилл Андреевич Горшков, Никита Евгеньевич Третьяков

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

Аннотация. Распределение луковиц по длине посадочной борозды при посадке существенно влияет на урожайность лука, так как при этом формируется площадь питания выращиваемой культуры. Значительное влияние на качество посадки лука-севка оказывает высаживающий аппарат, от работы которого зависит равномерность распределения луковиц по длине посадочной борозды на необходимом расстоянии друг от друга. Для привода высаживающих аппаратов луковых сажалок используют обычно цепные редукторы со сменными звездочками. Предлагается конструкция бесступенчатого редуктора луковой сажалки с подобранными подшипниками и расчетом их на долговечность.

Ключевые слова: сажалка; вал, бесступенчатый редуктор, сила, подшипник, долговечность, частота вращения.

Для цитирования: Овтов В. А., Цуренко П. Д., Горшков К. А., Третьяков Н. Е. Проверка подшипников ведомого вала бесступенчатого редуктора на долговечность // Аграрный научный журнал. 2023. № 3. С. 131–135. [http: 10.28983/asj.y2023i3pp131-135](http://10.28983/asj.y2023i3pp131-135).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Checking the bearings of the driven shaft of a variable gearbox for durability

Vladimir A. Ovtov, Pavel D. Tsurenko, Kirill A. Gorshkov, Nikita E. Tretyakov

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

Abstract. The distribution of bulbs along the length of the planting furrow during planting significantly affects the yield of onions, since the feeding area of the cultivated crop is formed. The planting apparatus has a significant impact on the quality of planting onions, the uniformity of the distribution of bulbs along the length of the planting furrow at the required distance from each other depends on its operation. To drive the planting machines of onion planters, chain reducers with replaceable sprockets are usually used. The design of a stepless gear of an onion planter with selected bearings and their calculation for durability is proposed.

Keywords: planter; shaft; stepless gearbox; force; bearing; durability; rotation speed.

For citation: Ovtov V. A., Tsurenko P. D., Gorshkov K. A., Tretyakov N. E. Checking the bearings of the driven shaft of a variable gearbox for durability // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(3):131–135. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i3pp131-135](http://10.28983/asj.y2023i3pp131-135).

Введение. Повышение урожайности и снижение трудоемкости при возделывании овощных культур является основной целью связанной с решением большинства задач, обеспечивающих совершенствование технологических процессов и проектирование рабочих органов сельскохозяйственных посевных агрегатов [1–6].

В настоящее время в сажалках, используемых при посадке луковых культур, в основном используются цепные редукторы со сменными звездочками для изменения нормы высева [5–11].

Внедрение в производство современных технологий основанных на инновационных технических решениях, которые были реализованы в сельскохозяйственных машинах и агрегатах, будут способствовать повышению эффективности производства, что в конечном итоге приведет к повышению урожайности и снижению затрат труда [10–12].

Применяемые в посевных агрегатах бесступенчатые редукторы для привода высевающих аппаратов позволяют проводить настройку установленной нормы высева различных культур, с минимальными затратами труда.



Методика исследований. Предлагается разработанная и спроектированная в Пензенском аграрном университете конструкция бесступенчатого редуктора сажалки лука-севка (рис. 1), который позволяет обеспечивать норму посадки независимо от фракции посадочного материала [13].

Предлагаемый бесступенчатый редуктор сажалки лука-севка работает следующим образом. При вращении ведущего вала кулачки, расположенные через 90 град, воздействуют на ролики рычагов толкателей, которые шарнирно соединены с обгонными муфтами, в свою очередь рычаги толкателей с обгонными муфтами совершают возвратно-поступательные движения с возможностью взаимодействия посредством пружины одного из роликов толкателей с кулачком, а другого – с прямолинейной дорожкой направляющей. Пружины возвращают рычаги толкателей в исходное положение. Регулировка частоты вращения ведомого вала осуществляется с помощью регулировочного рычага изменением угла поворота направляющей, которая имеет прямолинейные дорожки. Прямолинейные дорожки направляющей выполнены по линейной зависимости $x = a$, где a – расстояние от оси поворота направляющей до дорожки, что изменяет ход толкателей в единицу времени, вследствие чего меняется частота вращения ведомого вала.

Результаты исследований. Проведем подбор и проверку подшипников качения ведомого вала бесступенчатого редуктора, разработанного в Пензенском ГАУ [13].

Определяем радиальную силу от муфты, действующей на консольный участок вала:

$$F_m = 50\sqrt{T} = 50\sqrt{36} = 300 \text{ Н,}$$

где T – крутящий момент на валу, Нм.

Расчетная схема внешних нагрузок, действующих на ведомый вал, показана на рис. 2.

Определяем действующие на подшипники нагрузки от силы F_m и окружной силы F_t , равной 857 Н, для чего находим опорные реакции относительно опор вала (точки A и C).

Нагрузки на подшипники от силы F_m :

$$\sum M_{Az} = 0;$$

$$F_m \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - R_{Cz} \cdot (l_1 + l_2) = 0;$$

$$R_{Cz} = \frac{F_m \cdot (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2} = \frac{300(24 + 50 + 34)}{24 + 50} = 438 \text{ Н,}$$

$$\sum M_{Cz} = 0;$$

$$F_m \cdot l_3 + R_{Az} \cdot (l_1 + l_2) = 0;$$

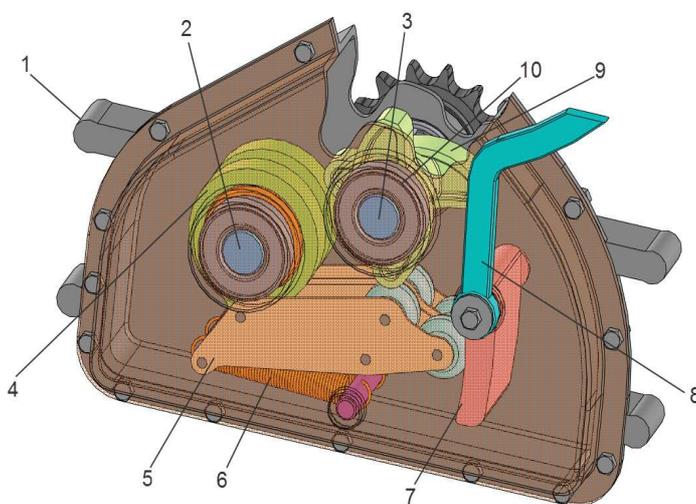


Рис. 1. Конструкция бесступенчатого редуктора: 1 – корпус; 2 – вал ведомый; 3 – вал ведущий; 4 – обгонные муфты; 5 – рычаги толкателей; 6 – пружины; 8 – регулировочный рычаг; 9 – кулачки; 10 – подшипники



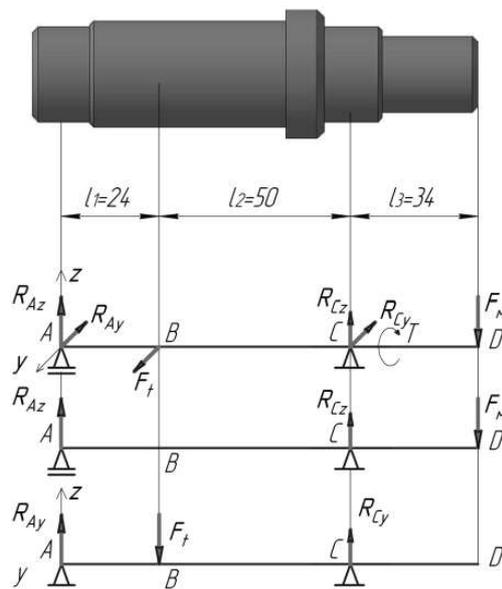


Рис. 2. Расчетная схема действия сил на ведомый вал

$$R_{Az} = -\frac{F_M \cdot l_3}{l_1 + l_2} = -\frac{300 \cdot 34}{24 + 50} = -138 \text{ Н.}$$

Проверка:

$$R_{Cz} - F_M + R_{Az} = 0.$$

$$438 - 300 - 138 = 0.$$

Нагрузки на подшипники от окружной силы F_t :

$$\sum M_{Ay} = 0;$$

$$R_{Cy} = \frac{F_t \cdot l_1}{l_1 + l_2} = \frac{857 \cdot 24}{24 + 50} = 278 \text{ Н.}$$

$$\sum M_{Cy} = 0;$$

$$-F_t \cdot l_2 + R_{Ay} \cdot (l_1 + l_2) = 0;$$

$$R_{Ay} = \frac{F_t \cdot l_2}{l_1 + l_2} = \frac{857 \cdot 50}{24 + 50} = 579 \text{ Н.}$$

Проверка:

$$R_{Cy} - F_t + R_{Ay} = 0.$$

$$278 - 857 + 579 = 0.$$

Определяем нагрузку в наиболее нагруженной опоре и дальнейший проверочный расчет проводим по этой опоре.

$$R_A = \sqrt{(R_{Az})^2 + (R_{Ay})^2} = \sqrt{(-138)^2 + (579)^2} = 595,2 \text{ Н.}$$

$$R_C = \sqrt{(R_{Cz})^2 + (R_{Cy})^2} = \sqrt{(438)^2 + (278)^2} = 518,8 \text{ Н.}$$

Выбираем шариковые радиальные подшипники по ГОСТ 7242-81 № 60205: $d = 25$ мм; $D = 47$ мм; $B = 14$ мм; динамическая грузоподъемность – $C_r = 14000$ Н; статическая грузоподъемность – $C_{or} = 6950$ Н.

Требуемая долговечность подшипника (ресурс) [14]:



$$L = \frac{60n \cdot L_n}{10^6} \text{ млн об.},$$

где n – частота вращения вала, мин^{-1} , $n = 108 \text{ мин}^{-1}$.

$$L_n = L \cdot 365 \cdot 24 \cdot K_r \cdot K_c \cdot \text{ПВ} = 10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 1 = 8760 \text{ ч},$$

где L – срок службы передачи, лет $L = 10$ лет; K_r – коэффициент использования передачи в течении года, $K_r = 0,2$; K_c – коэффициент использования передачи в течении суток, $K_c = 0,5$; ПВ – относительная продолжительность включения, ПВ = 1.

$$L = \frac{60 \cdot 108 \cdot 8760}{10^6} = 56,76 \text{ млн об.}$$

Приведенную нагрузку на подшипники определяют по формуле [14]:

$$F_{\text{пр}} = F_r V K_\sigma K_T \text{ при } \frac{F_a}{V F_r} < e,$$

где V – коэффициент вращения. При вращении внутреннего кольца $V = 1$; F_a – осевая нагрузка на подшипник, Н; F_r – радиальная нагрузка на подшипник, Н; e – коэффициент осевого нагружения; K_σ – коэффициент безопасности, $K_\sigma = 1,1$; K_T – коэффициент, учитывающий влияние температуры $K_T = 1,0$ (до 100°).

Приведенная нагрузка на подшипник в опоре А:

$$F_{rA} = R_A = 595,2 \text{ Н},$$

$$F_{\text{пр}A} = F_{rA} V K_\sigma K_T = 595,2 \cdot 1 \cdot 1,1 = 654,7 \text{ Н}.$$

Эквивалентная нагрузка на подшипник составит

$$F_{\text{экв}} = F_{\text{пр}} = 654,7 \text{ Н}$$

Требуемую динамическую грузоподъемность подшипника рассчитывают по формуле [14]:

$$C_{r(\text{треб})} = F_{\text{экв}} \cdot \sqrt[p]{L},$$

где $p = 3,0$ – для шариковых подшипников.

$$C_{r(\text{треб})} = 654,7 \sqrt[3]{56,76} = 2516,1 \text{ Н}.$$

$$C_{r(\text{треб})} = 2516,1 \text{ Н} < C_{r(\text{кат})} = 14800 \text{ Н}.$$

Заключение. Подобранные радиальные шариковые подшипники бесступенчатого импульсного редуктора обладают достаточным ресурсом. Следовательно, спроектированный бесступенчатый редуктор обеспечит надежную работу высевающего аппарата, тем самым обеспечивая заданную норму высева луковой сажалкой при скорости посадки до $6,0 \dots 6,5 \text{ км/ч}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарев О.Н. Энергосберегающие технологии ориентированной посадки сельскохозяйственных культур: дис. ... д-ра техн. наук / О.Н. Кухарев. Пенза, 2006. 417 с.
2. 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. Vol. 51. No 3. P. 12–18.
3. Овтов В.А., Емельянов П.А., Аксенов А.Г. Обоснование геометрических параметров бункера луковой сажалки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 6. С. 19–20.
4. Механизация посадки маточников лука / Н. Ларюшин [и др.] // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2007. № 8. С. 14–15.
5. Ovtov V., Ovtova O. The evaluating method of the biological activity and relative productivity for mixed and combined three-component crops // SCIENTIFIC PAPERS-SERIES A-AGRONOMY. 2020. Vol. 63. No 1. P. 112–118.
6. Single disc coulter with gauge wheel for pneumatic seed drill / V.V. Shumaev, V.A. Ovtov, A.N. Kalabushchev, M.A. Papchev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021), Penza, 16–18 ноября 2021 года. Penza, 2022. P. 012019.



7. Сеялка для посева воздушных луковичек чеснока / Н.П. Ларюшин [и др.] // Нива Поволжья. 2008. № 2(7). С. 51–54.

8. Ovtov V.A., Mitin K.M., Tsurenko P.D. The pulse stepless onion planter gear reducer/ // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021) 12–14 May 2021, Tashkent, Uzbekistan. Bristol, 2021. P. 012009.

9. Комплекс машин для производства лука по ресурсосберегающим технологиям / Н.П. Ларюшин [и др.] // Овощи России. 2019. № 6(50). С. 141–145. DOI 10.18619/2072-9146-2019-6-141-145.

10. 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.

11. Economic efficiency of onion growing in the central part of Russia / O.N. Kukharev, [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: SUSTAINABLE AND INNOVATIVE DEVELOPMENT IN THE DIGITAL, Moscow, 17–18 ноября 2020 года. Moscow, 2021. P. 012058.

12. Катущечно-вилчатый высаживающий аппарат для ориентированной посадки лука-севка / А.Г. Аксенов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 5. С. 20–24.

13. Патент № 2765499 С1 РФ, МПК А01С 7/00. Редуктор-вариатор сажалки лука-севка / В.А. Овтов, К.М. Митин, П.Д. Цуренко. – № 2020138143; Заявл. 19.11.2020; опубл. 31.01.2022. Бюл № 4.

14. Подбор и проверочный расчет подшипников лопастного ориентирующего устройства / В.А. Овтов [и др.] // Сурский вестник. 2021. № 1(13). С. 56–60.

REFERENCES

1. Kukharev O.N. Energy-saving technologies for oriented planting of agricultural crops: dis. ... Doctor of tech. sciences. Penza, 2006. 417 p. (In Russ.).

2. 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: 12–18.

3. 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. (In Russ.).

4. Mechanization of planting onion queen cells / N. Laryushin et al. *Agricultural machinery: maintenance and repair*. 2007; 8: 14–15. (In Russ.).

5. Ovtov V., Ovtova O. The evaluating method of the biological activity and relative productivity for mixed and combined three-component crops. *SCIENTIFIC PAPERS-SERIES A-AGRONOMY*. 2020; 63; 1: 112–118.

6. Single disc coulter with gauge wheel for pneumatic seed drill / V.V. Shumaev, V.A. Ovtov, A.N. Kalabushev, M.A. Papchev. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021)*, Penza, November 16–18, 2021. Penza, 2022: 012019.

7. Seeder for sowing air bulbs of garlic / N.P. Laryushin et al. *Niva of the Volga region*. 2008; 2(7): 51–54. (In Russ.).

8. Ovtov V.A., Mitin K.M., Tsurenko P.D. The pulse stepless onion planter gear reducer/ // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021)* 12–14 May 2021, Tashkent, Uzbekistan. Bristol, 2021: 012009.

9. Complex of machines for onion production using resource-saving technologies / N.P. Laryushin et al. *Vegetables of Russia*. 2019; 6(50): 141–145. DOI 10.18619/2072-9146-2019-6-141-145. (In Russ.).

10. Ovtov V.A. Construction and Design Parameters of the Reducer-Variator. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2021; 14; 3: 202–204.

11. Economic efficiency of onion growing in the central part of Russia / O.N. Kukharev et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: SUSTAINABLE AND INNOVATIVE DEVELOPMENT IN THE DIGITAL*, Moscow, November 17–18, 2020. Moscow, 2021. P. 012058.

12. Reel-fork planting device for oriented landing of onion sets / A.G. Aksenov et al. *Agricultural machines and technologies*. 2015; 5: 20–24. (In Russ.).

13. Patent No. 2765499 C1 RF, IPC A01C 7/00. Reducer-variator of an onion set planter / V.A. Ovtov, K.M. Mitin, P.D. Tsurenko. - No. 2020138143; Appl. 11/19/2020; publ. 01/31/2022. Bullet No. 4. (In Russ.).

14. Selection and verification calculation of bearings of a bladed orienting device / V.A. Ovtov et al. *Sursk Bulletin*. 2021; 1(13): 56–60. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 4.07.2022; одобрена после рецензирования 28.07.2022; принята к публикации 12.08.2022.

The article was submitted 4.07.2022; approved after reviewing 28.07.2022; accepted for publication 12.08.2022.

