

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 635-151:635.21

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-57-64

**Классификация ротационных рабочих органов  
сельскохозяйственных машин и их траектории движения****Владимир Федорович Первушин** , *д-р техн. наук, профессор*<sup>1</sup>pervushin54@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>**Александр Григорьевич Левшин**, *д-р техн. наук, профессор*<sup>2</sup>alev200151@rambler.ru <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>**Марат Зуфарович Салимзянов**, *канд. техн. наук, доцент*<sup>1</sup>salimmar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>**Алексей Геннадьевич Ипатов**, *канд. техн. наук, доцент*<sup>1</sup>Ipatow.al@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>**Владимир Иванович Ширококов**, *канд. техн. наук, доцент*<sup>1</sup>vlh150@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5091-1190><sup>1</sup> Удмуртский государственный аграрный университет; Российская Федерация, Удмуртская Республика, 426059, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Применяемые ротационные машины и орудия для возделывания сельскохозяйственных культур не в полной мере отвечают агротехническим требованиям. Для обоснования параметров рабочих органов выполнены исследования абсолютной траектории их движения и предложена классификация ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин по расположению оси вращения в пространстве, распределяющая их на 4 группы и 7 подгрупп: А – первая группа роторов с горизонтально-поперечной осью вращения; Б – вторая группа роторов с вертикальной осью вращения; В – третья группа роторов с продольной осью вращения; Г, Д, Е, Ж – четвертая группа роторов с расположением оси вращения в пространстве относительно системы координат OXYZ под углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Представлены результаты кинематического анализа ротационных рабочих органов для классов Г, Д, Е, Ж, имеющих сложное расположение оси вращения в пространстве. В результате анализа расчетов координат траектории движения ротационных рабочих органов установлено, что в группе роторов класса Г, Д, Е траектория движения соответствует сжатой циклоиде, а для ротора класса Ж траектория представляет собой геликоиду. Полученные траектории движения материальных точек ротационных рабочих органов позволяют оценить процесс взаимодействия рабочих органов с почвой и растительным материалом, обосновать геометрические параметры рабочих органов, частоту вращения ротора, поступательную скорость сельскохозяйственной машины.

**Ключевые слова:** классификация ротационных рабочих органов, скорость машины, траектория движения, ротор**Формат цитирования:** Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Салимзянов М.З., Ипатов А.Г., Ширококов В.И. Классификация ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин и их траектории движения // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 57-64. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-57-64>.

© Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Салимзянов М.З., Ипатов А.Г., Ширококов В.И., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

**Classification of rotary cultivation tools of agricultural machines  
and their motion trajectories****Vladimir F. Pervushin** , *DSc (Eng), Professor*<sup>1</sup>pervushin54@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>**Aleksandr G. Levshin**, *DSc (Eng), Professor*<sup>2</sup>alev200151@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>**Marat Z. Salimzyanov**, *CSc (Eng), Associate Professor*<sup>1</sup>salimmar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>

*Aleksei G. Ipatov, CSc (Eng), Associate Professor*<sup>1</sup>

ipatow.al@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>

*Vladimir I. Shirobokov, CSc (Eng), Associate Professor*<sup>1</sup>

vlh150@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5091-1190>

<sup>1</sup> Udmurt State Agrarian University; Russian Federation, Udmurt Republic, 426059, Izhevsk, Studencheskaya Str., 11

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation

**Abstract.** The rotary machines and implements used for the cultivation of agricultural crops do not fully meet the agrotechnical requirements. To determine the parameters of the working tools, the authors studied the absolute trajectory of their movement and classified rotary working tools of agricultural machines according to the special location of their rotation axis, dividing them into four groups and seven subgroups: A – the first group of rotors with a horizontal-transverse axis of rotation; B – the second group of rotors with a vertical axis of rotation; C – the third group of rotors with a longitudinal axis of rotation; D, D, E and F are the fourth group of rotors with the axis of rotation located in space relative to the coordinate system XYZ at angles  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$ . The article presents kinematic analysis results for rotary working tools of classes G, D, E, W having a complex location of the axis of rotation in the space. The analysis of calculating the coordinates of the motion trajectory of rotary working tools showed that for the group of rotors of class G, D, E, the motion trajectory corresponds to a compressed cycloid, and for a rotor of class G, the trajectory represents a helicoid. The obtained motion trajectories of material points of rotary working tools can be used to evaluate the process of interaction of working tools with the soil and plant material, to determine the geometric parameters of working tools, the rotor speed, and the translational speed of an agricultural machine.

**Keywords:** classification of rotating tools, machine speed, trajectory, rotor

**For citation:** Pervushin V.F., Levshin A.G., Salimzyanov M.Z., Ipatov A.G., Shirobokov V.I. Classification of rotary cultivation tools of agricultural machines and their motion trajectories. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(3):57-64. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-57-64>.

**Введение.** Пассивные рабочие органы почвообрабатывающих машин и орудий движутся по прямолинейной траектории, поэтому интенсивность деформации и рыхления почвы недостаточна и зависит в основном от их геометрической формы. Для повышения интенсивности рыхления почвы и уничтожения сорняков используют активные (ротационные) устройства<sup>1</sup> [1-3].

Основными параметрами, характеризующими ротационные рабочие органы, являются вид траектории движения, величина и направление скорости рабочих элементов ротора, а в ряде случаев – величина и направление ускорения. Интенсивность деформации почвы и уничтожения сорняков ротационными рабочими органами в большей степени определяется траекторией их движения [4-8].

**Цель исследований:** провести анализ траектории движения материальных точек ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин.

**Материалы и методы.** Траектория движения материальных точек ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин определялась на основе их классификации, учитывающей расположение оси

вращения в пространстве ротационных рабочих органов, подразделяющей их на 4 группы и 7 подгрупп:

А – первая группа роторов с поперечно-горизонтальной осью вращения;

Б – вторая группа роторов с вертикальной осью вращения;

В – третья группа роторов с продольно-горизонтальной осью вращения;

Г, Д, Е, Ж – четвертая группа роторов, у которых оси вращения располагаются относительно системы координат  $OXYZ$  под углами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  [9-13].

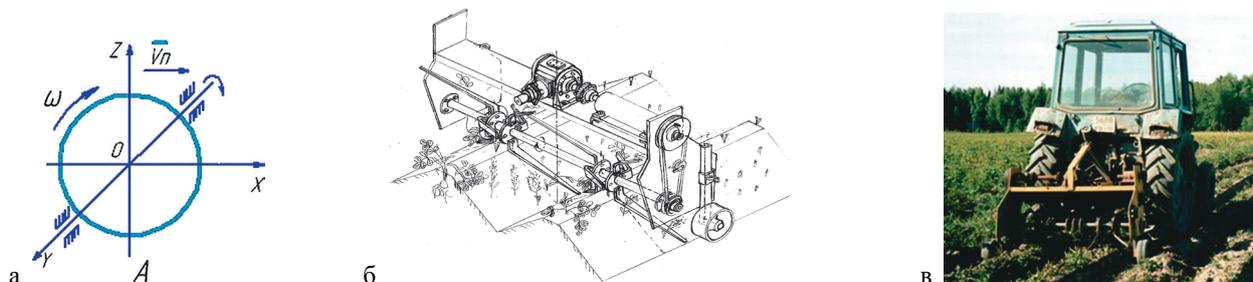
К первой группе роторов А следует отнести рабочий орган машины для удаления ботвы картофеля с расположением оси вращения в поперечно-горизонтальной плоскости, то есть совпадающей с направлением оси координат  $U$  (рис. 1).

Ко второй группе роторов класса Б можно отнести, например, ротор ботводробителя с вертикальной осью вращения (рис. 2).

Третья группа роторов класса В имеет ось вращения, совпадающую с направлением поступательной скоростью машины. К этой группе роторов относится рабочий орган картофелекопателя КТН-1Б (рис. 3).

Четвертая группа роторов класса Г, Д, Е, Ж – с осью вращения, расположенной под углом  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  относительно трехмерной системы координат  $OXYZ$ . К этой группе роторов относится ротационный рыхлитель культиватора для ухода за растениями картофеля (рис. 4).

<sup>1</sup> Бицоев Б.А., Гаспарян И.Н., Левшин А.Г., Щиголов С.В. Обоснование параметров и режимов работы устройства для декапитации: Монография. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. 112 с. EDN: EFSLRA

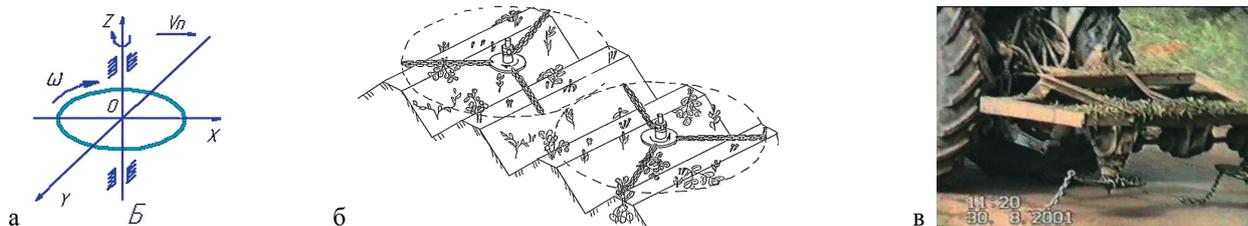


**Рис. 1. Рабочий орган ботводроителя с горизонтально-поперечной осью вращения по отношению к направлению движения агрегата (первая группа роторов):**

a – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид

**Fig. 1. Working tool of the haulm shredder with a horizontal-transverse rotation axis in relation to the direction of the unit's motion (the first group of rotors):**

a – kinematic scheme; b – technological scheme; c – general view

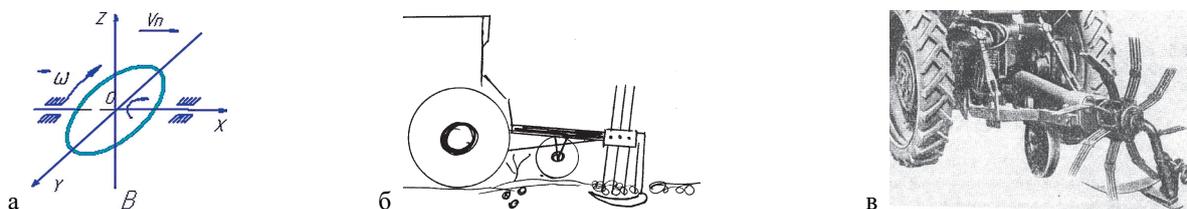


**Рис. 2. Ботводроитель с вертикальной осью вращения (вторая группа роторов):**

a – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид цепного ботводроителя (РЛЗ-4)

**Fig. 2. Haulm shredder with a vertical rotation axis (the second group of rotors):**

a – kinematic scheme; b – technological scheme; c – general view of the chain haulm shredder (RLZ-4)

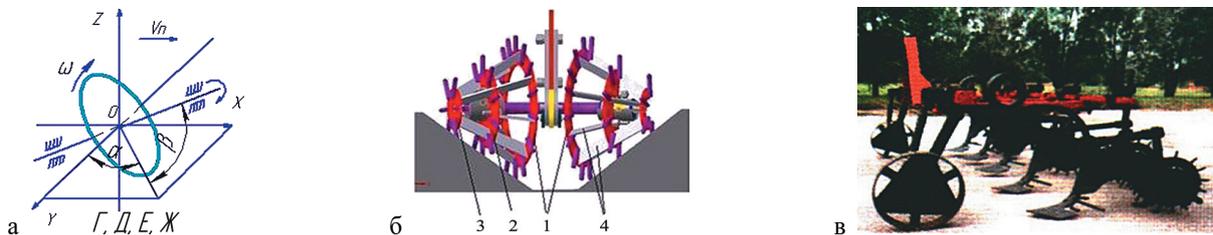


**Рис. 3. Картофелекопатель КТН-1Б с горизонтальной осью вращения ротора, совпадающей с направлением движения агрегата (класс В, третья группа роторов):**

a – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид картофелекопателя

**Fig. 3. Potato digger KTN-1B with a horizontal rotation axis of the rotor coinciding with the direction of the unit's motion (class B, the third group of rotors):**

a – kinematic scheme; b – technological scheme; c – general view of the potato digger



**Рис. 4. Культиватор для ухода за растениями картофеля с ротационным рыхлителем, расположенным под углом наклона  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  относительно трехмерной системы координат OXYZ (четвертая группа роторов):**

a – кинематическая схема; б – технологическая схема; в – общий вид культиватора

**Fig. 4. Potato cultivator with a rotary ripper located at an angle of inclination  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  relative to the three-dimensional coordinate system OXYZ (the fourth group of rotors):**

a – kinematic scheme; b – technological scheme; c – general view of the cultivator

В зависимости от расположения оси вращения ротора в пространстве первые две группы роторов класса А и Б совершают плоско-параллельное движение

и их абсолютная траектория движения описывается на плоскости, перпендикулярной оси вращения ротора, в виде циклоид, которые характеризуются показателем

кинематического режима работы  $\lambda$  и могут быть удлиненными при  $\lambda > 1$ , обыкновенными при  $\lambda = 1$  (что характерно для катков и опорно-приводных колес сельскохозяйственных машин), укороченными  $\lambda < 1$  (что характерно для борон ротационно-реактивного типа [4-6]).

Для четвертой группы роторов класса Г, Д, Е, Ж, расположенных под углом наклона  $\alpha, \beta, \gamma$  относительно трехмерной системы координат OXYZ, кинематика и абсолютная траектория движения в настоящее время недостаточно изучены.

Кинематический анализ роторов класса Г, Д, Е, Ж проведен относительно неподвижной прямоугольной системы координат OXYZ. Уравнения абсолютной траектории движения материальной точки получены на основе пакета Matcad 11.

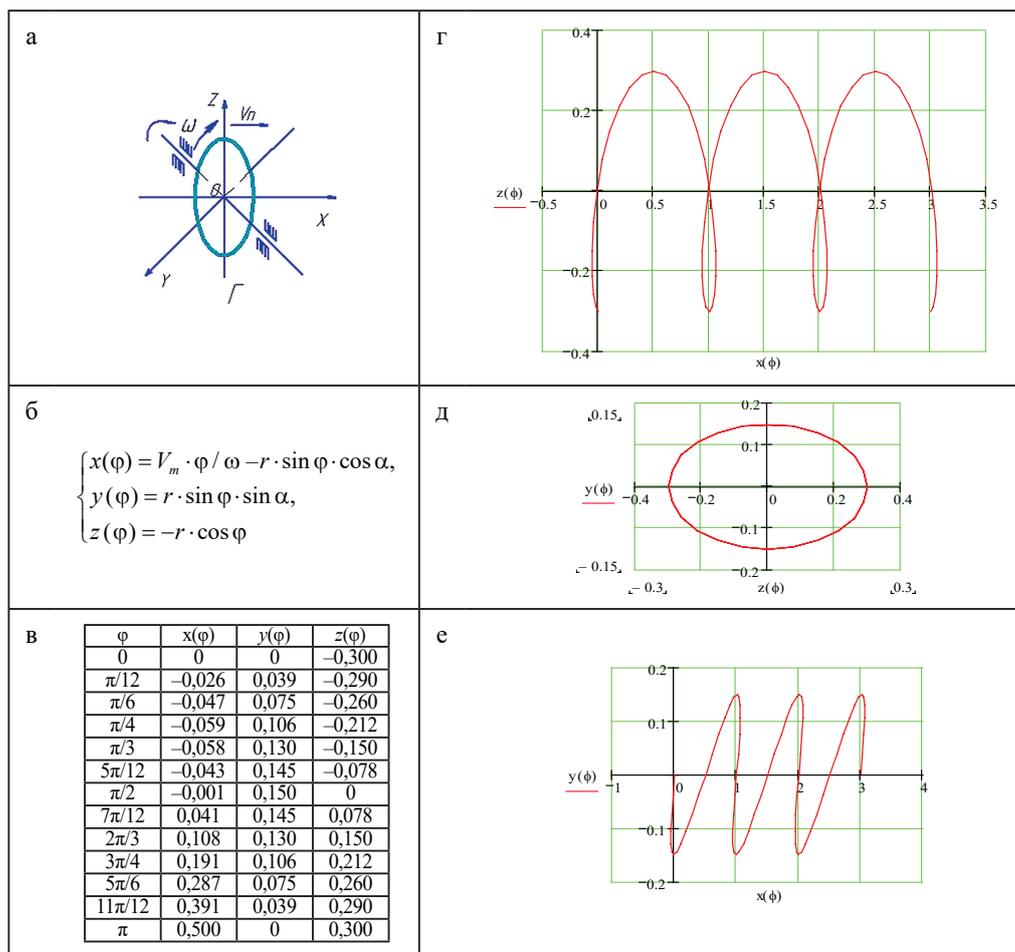
**Результаты и их обсуждение.** Описание кинематики ротора начнем с рассмотрения движения точки, принадлежащей ротору и расположенной на расстоянии радиуса  $r$ , вращающегося с постоянной угловой скоростью  $\omega = 2\pi n/60$  вокруг оси ротора

в неподвижной системе координат OXYZ с поступательной скоростью машины  $V_m$  вдоль оси OX.

Любая точка ротора в относительном движении за время  $t_i$  поворачивается на угол  $\varphi_i = \omega \cdot t_i$ , а в переносном движении ротор перемещается поступательно вдоль оси абсцисс на расстояние  $V_m \cdot t_i$  или  $V_m \cdot \varphi / \omega$ . Поэтому координаты траектории движения точки рабочего органа складываются из относительного и переносного движения. За начало отсчета траектории движения материальной точки принимаем нижнее вертикальное положение в пространстве относительно плоскости OXY при  $t = 0$  [7-13].

Расчеты и построение траекторий движения выполнены при следующих исходных данных:

- обороты ротора  $n = 180 \text{ мин}^{-1}$ ;
- угол поворота ротора  $\varphi = 0, \pi/12 \dots 2\pi \text{ к}$ ;
- число оборотов  $k = 3$ ;
- поступательная скорость машины  $V_m = 3 \text{ м/с}$ ;
- углы наклона оси вращения ротора относительно положительных осей координат OX, OY, OZ  $\alpha = \beta = \gamma = \pi/6$  (рис. 5-8).



**Рис. 5. Результаты кинематического анализа ротационного рабочего органа класса Г:**

а – схема ротора класса Г; б – система уравнений абсолютной траектории движения точки; в – результаты расчета; г, д, е – проекции траектории на прямоугольные плоскости системы координат OXYZ

**Fig. 5. Kinematic analysis results for a rotary working tool of class G:**

а – diagram of a class G rotor; б – system of equations for the absolute trajectory of the point; в – calculation results; г, д, е, ф – projections of the trajectory on rectangular planes of the OXYZ coordinate system

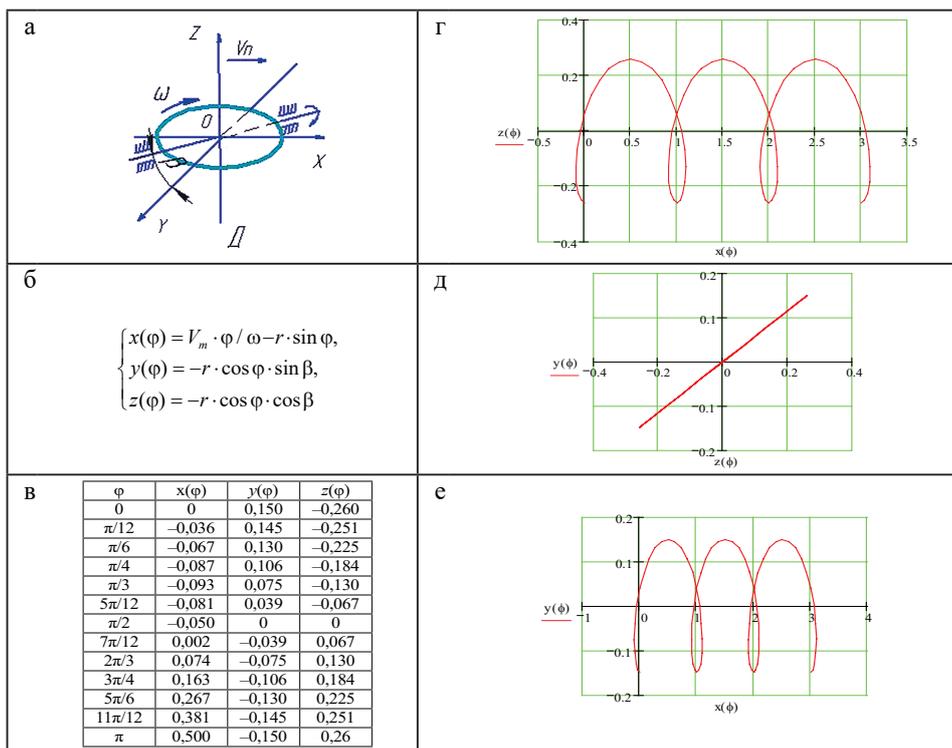


Рис. 6. Результаты кинематического анализа ротационного рабочего органа класса Д:

а – схема ротора класса Д; б – уравнения абсолютной траектории движения точки; в – результаты расчета; г, д, е – проекции траектории на прямоугольные плоскости системы координат OXYZ

Fig. 6. Kinematic analysis results for a rotary working tool of class D:

a – diagram of a class D rotor; б – equations of the absolute trajectory of the point; c – calculation results; d, e, f – projections of the trajectory on rectangular planes of the OXYZ coordinate system

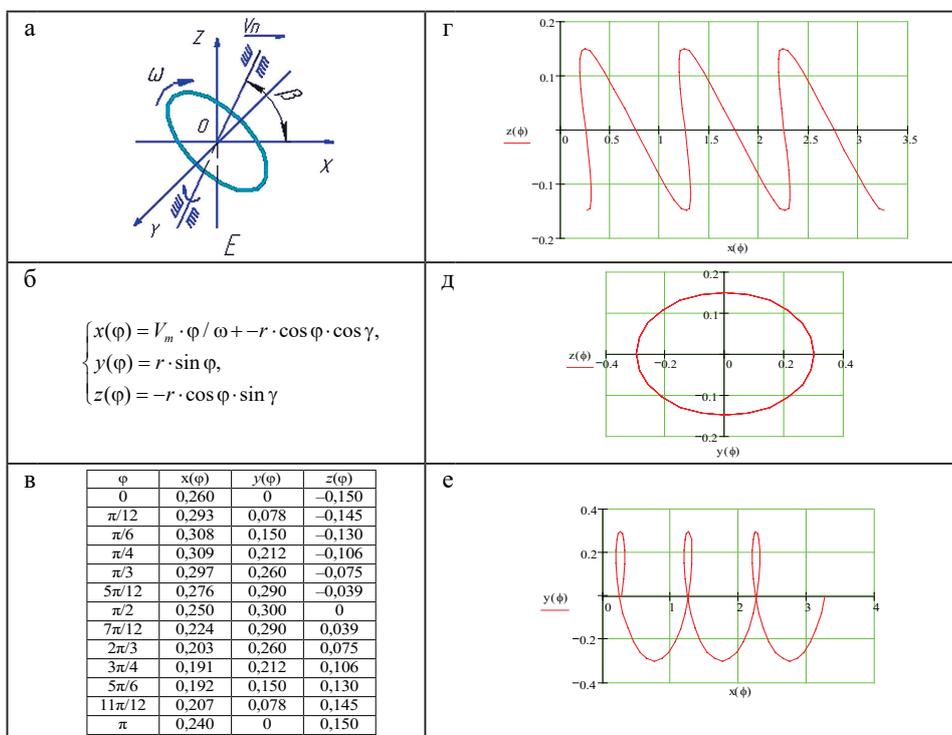
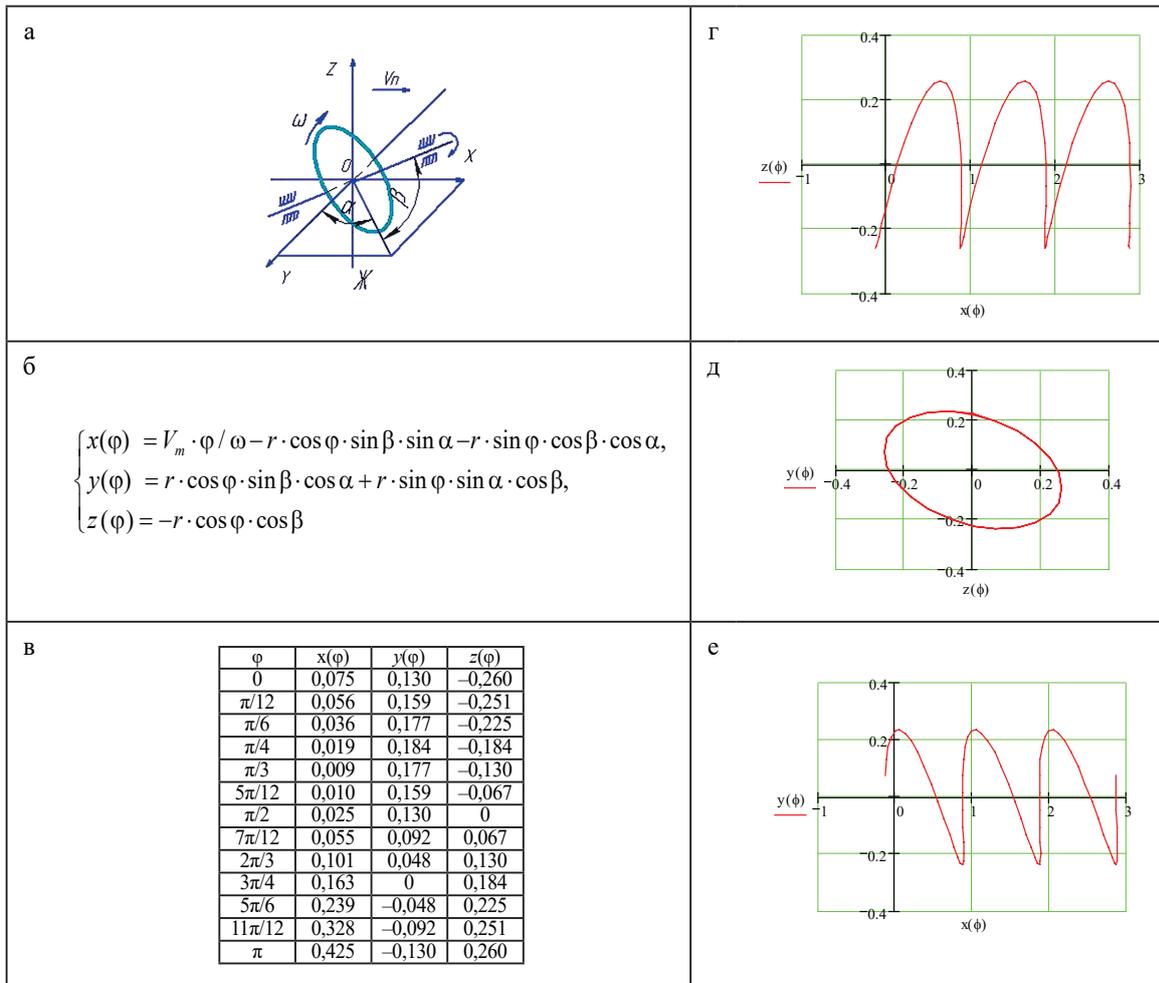


Рис. 7. Результаты кинематического анализа ротационного рабочего органа класса Е:

а – схема ротора класса Е; б – уравнения абсолютной траектории движения точки; в – результаты расчета; г, д, е – проекции траектории на прямоугольные плоскости системы координат OXYZ

Fig. 7. Kinematic analysis results for a rotary working tool of class E:

a – diagram of the rotor of class E; б – equations of the absolute trajectory of the point; c – calculation results; d, e, f – trajectory projections on rectangular planes of the OXYZ coordinate system



**Рис. 8. Результаты кинематического анализа ротационного рабочего органа класса Ж:**  
 а – схема ротора класса Ж; б – уравнения абсолютной траектории движения точки; в – результаты расчета;  
 г, д, е – проекции траектории на прямоугольные плоскости системы координат OXYZ

**Fig. 8. Kinematic analysis results for a rotary working tool of class G:**  
 а – diagram of a rotor of class G; б – equations of the absolute trajectory of the point; в – calculation results;  
 д, е, ф – projections of the trajectory on rectangular planes of the OXYZ coordinate system

**Выводы**

1. Предложенная классификация ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин охватывает всю совокупность возможного расположения оси вращения роторов в пространстве и таким образом облегчает систематизировать теорию по представленным группам машин.

2. Для группы роторов, у которых ось вращения располагается в пространстве относительно системы

координат OXYZ под углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , траектория движения материальных точек соответствует сжатой циклоиде (класс Г, Д, Е) и геликоиду (класс Ж).

3. Полученные траектории движения материальных точек ротационных рабочих органов позволяют оценить процесс взаимодействия рабочих органов с почвой и растительным материалом, обосновать геометрические параметры рабочих органов, частоту вращения ротора, поступательную скорость сельскохозяйственной машины.

## Список использованных источников

1. Исследование кинематического режима работы ротационного рыхлителя для междурядной обработки почвы / В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов и др. // Развитие производства и роль агроинженерной науки в современном мире: Материалы Международной научно-практической конференции, Ижевск, 16-17 декабря 2021 г. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 259-264. EDN: WFDXQL
2. Ротационный рыхлитель: Патент на полезную модель RU177399 U1, МПК А01В21/00 / В.Ф. Первушин, А.Г. Левшин, М.З. Салимзянов, И.Ю. Лебедев, И.Ш. Фатыхов. № 2017120112: заявл. 07.06.2017: опубл. 21.02.2018. EDN: МКВКТИ
3. Левшин А.Г., Алсанкари А. Проверка методики экспресс-анализа буксования // Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова: Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова, Москва, 7-9 июня 2021 г. Т. 1. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. С. 164-168. EDN: QGEQHO
4. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З., Касимов Н.Г., Кузнецов А.Н., Калимуллин М.Н. Исследование кинематического режима работы ротационного рыхлителя для междурядной обработки почвы // Развитие производства и роль агроинженерной науки в современном мире: Материалы Международной научно-практической конференции, Ижевск, 16-17 декабря 2021 г. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 259-264. EDN: WFDXQL
5. Бодалев А.П., Иванов А.Г., Костин А.В., Шкляев К.Л., Шкляев А.Л., Дерюшев И.А. Взаимодействие пружинных рабочих органов тяжелых зубковых борон с почвой // Вестник НГИЭИ. 2020. № 1 (104). С. 16-30. EDN: FKELCU
6. Дерюшев И.А., Костев В.В., Луценко Н.А., Васильева О.П. Пути снижения воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на структуру и свойства почвы // Развитие производства и роль агроинженерной науки в современном мире: Материалы Международной научно-практической конференции, Ижевск, 16-17 декабря 2021 г. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 59-63. EDN: KFJNBN
7. Дерюшев И.А., Галицын Д.А., Костев В.В. Перспективные способы посева овощных культур в открытом грунте // Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития аграрной науки: Материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых, Ижевск, 17-19 ноября 2021 г. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 8-11. EDN: IMZIDC
8. Шкляев К.Л., Шкляев А.Л., Михеева Е.А. Комплекс машин для возделывания и уборки корнеплодов // Современные достижения селекции растений – производству: Материалы Национальной научно-практической конференции, Ижевск, 15 июля 2021 г. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 311-316. EDN: YTEKMY
9. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З., Касимов Н.Г., Шакиров Р.Р., Марков Д.А. Экспериментальная установка для удаления ботвы картофеля // Сельский механизатор. 2022. № 5. С. 6-7. EDN: WSTGGF
10. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З., Лебедев И.Ю. и др. Обоснование конструкции ротационной бороны для ухода

## References

1. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Kasimov N.G. et al. Study of the kinematic mode of operation of a rotary ripper for inter-row tillage. *Razvitie proizvodstva i rol agroinzhenernoy nauki v sovremennom mire: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, December 16-17, 2021. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2021:259-264. (In Rus.)
2. Pervushin V.F., Levshin A.G., Salimzyanov M.Z., Lebedev I. Yu., Fatykhov I.Sh. Rotary ripper: Utility model patent RU177399 U1, IPC A01B21/00. No. 2017120112, 2018. (In Rus.)
3. Levshin A.G., Alsankari A. Verification of the method of express analysis of slipping. *Vserossiyskaya s mezhdunarodnym uchastiem nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennaya 155-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Khudyakova: Materialy Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiem nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 155-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Khudyakova*, June 7-9, 2021. Moscow, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2021;1:164-168. (In Rus.)
4. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Kasimov N.G., Kuznetsov A.N., Kalimullin M.N. Study of the kinematic mode of operation of a rotary cultivator for inter-row tillage. *Razvitie proizvodstva i rol agroinzhenernoy nauki v sovremennom mire: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, December 16-17, 2021. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2021:259-264. (In Rus.)
5. Bodalev A.P., Ivanov A.G., Kostin A.V., Shklyayev K.L., Shklyayev A.L., Deryushev I.A. Interaction of spring operating part of heavy tine harrows with soil. *Bulletin NGIEI*. 2020;1(104):16-30. (In Rus.)
6. Deryushev I.A., Kostev V.V., Lutsenko N.A., Vasil'eva O.P. Ways to reduce the impact of running systems of agricultural machinery on the structure and properties of the soil. *Razvitie proizvodstva i rol agroinzhenernoy nauki v sovremennom mire: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, December 16-17, 2021. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2021:59-63. (In Rus.)
7. Deryushev I.A., Galitsyn D.A., Kostev V.V. Promising methods of sowing vegetable crops in open ground. *Vklad molodykh uchenykh v realizatsiyu prioritetnykh napravleniy razvitiya agrarnoy nauki: Materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh*, Izhevsk, November 17-19, 2021. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2021:8-11. (In Rus.)
8. Shklyayev K.L., Shklyayev A.L., Mikheeva E.A. A complex of machines for cultivating and harvesting root crops. *Sovremennye dostizheniya selektsii rasteniy – proizvodstvu: Materialy Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Izhevsk, July 15, 2021. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2021:311-316. (In Rus.)
9. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Kasimov N.G., Shakhirov R.R., Markov D.A. Justification of the design of the rotary harrow for the care of potato plantings. *Selskiy mekhanizator*. 2022;5:6-7. (In Rus.)
10. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Lebedev I. Yu., Fedotov A.A., Dubovtsev S.A. Justification of the design of the rotary harrow for the care of potato plantings. *Selskiy mekhanizator*. 2020;10:14-15. (In Rus.)
11. Kalimullin M.N., Salimzyanov M.Z., Pervushin V.F., Latypov R.M., Ayugin N.P., Shakhirov R.R. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources»*. 2022;52:00056.

за посадками картофеля // Сельский механизатор. 2020. № 10. С. 14-15. EDN: BNEJQJ

11. Kalimullin M.N., Salimzyanov M.Z., Pervushin V.F., Latypov R.M., Ayugin N.P., Shakirov R.R. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil. BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources". 2022;52:00056. EDN: UDWMKX

12. Salimzyanov M., Pervushin V., Kasimov N., Kalimullin M. Substantiation of design and parameters of rotary harrow for preemployment processing ridge planting of potatoes. Engineering for Rural Development: 19, Jelgava, 2020. Pp. 1431-1436. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF359>

13. Salimzyanov M., Pervushin V., Shakirov R., Kalimullin M. Improvement of technology and machines for growing potatoes in agriculture. Engineering for Rural Development: 19, Jelgava, 2020. Pp. 1423-1430. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF356>

#### **Вклад авторов**

В.Ф. Первушин – концептуализация, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование.

А.Г. Левшин – методология.

М.З. Салимзянов – программное обеспечение.

А.Г. Ипатов – проведение исследования.

В.И. Широбокров – верификация данных.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 30.03.2023; поступила после рецензирования и доработки 13.04.2023; принята к публикации 21.04.2023

12. Salimzyanov M., Pervushin V., Kasimov N., Kalimullin M. Substantiation of design and parameters of rotary harrow for preemployment processing ridge planting of potatoes. Engineering for Rural Development: 19, Jelgava, 2020. Pp. 1431-1436. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF359>

13. Salimzyanov M., Pervushin V., Shakirov R., Kalimullin M. Improvement of technology and machines for growing potatoes in agriculture. Engineering for Rural Development: 19, Jelgava, 2020. Pp. 1423-1430. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF356>

#### **Contribution of the authors**

V.F. Pervushin – conceptualisation, finalizing of the manuscript and editing.

A.G. Levshin – methodology.

M.Z. Salimzyanov – software.

A.G. Ipatov – carrying out the research.

V.I. Shirobokov – data verification

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 30.03.2023; revised 13.04.2023; accepted 21.04.2023