



Исследование процесса бороздообразования ротационными рабочими органами с активным приводом

Максат Амантайулы Амантаев,

доктор философии,

и.о. ассоциированного профессора,

e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru;

Руслан Иванович Кравченко,

доктор философии,

и.о. ассоциированного профессора,

e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru;

Евгений Александрович Золотухин,

доктор философии, и.о. ассоциированного профессора,

e-mail: zolotukhinel7@mail.ru;

Турсынай Сериковна Төлеміс,

докторант PhD,

e-mail: tursynay17@mail.ru;

Абылайхан Нурмагамбетович Табулденов,

докторант PhD,

e-mail: inzhenertsesna@gmail.com

Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан

Реферат. Ротационные рабочие органы с активным приводом находят широкое применение в сельском хозяйстве. Однако процесс бороздообразования в случае их использования остается недостаточно изученным. (*Цель исследования*) Изучить процесс бороздообразования исполнительными элементами ротационных рабочих органов с активным приводом. (*Материалы и методы*) Эксперименты проводились на лабораторной установке в песчаном канале, заполненном песчаной почвой. Угол атаки рабочих органов составлял 30-90 градусов, кинематический параметр варьировался в диапазоне 0,8-2,2. Исполнительный элемент ротационных рабочих органов выполнен по круглой и эллиптической форме лезвия с наименьшей кривизной линии (большой полуоси эллипса). Исполнительный элемент с эллиптической формой лезвия имеет возможность изменять угол наклона относительно оси вращения рабочего органа (*Результаты и обсуждение*) Ротационные рабочие органы с исполнительным элементом круглой формы лезвия формируют борозду, параллельную направлению движения. Установлено, что с ростом угла атаки рабочего органа от 30 до 90 градусов ширина борозды увеличивается почти в 2 раза. Исполнительный элемент, выполненный по эллиптической линии лезвия, образует борозду, имеющую форму параллелограмма при виде сверху. При малом угле атаки образуется короткая, узкая борозда, отклоненная от направления движения агрегата в границах ширины захвата ротационного рабочего органа. (*Выводы*) Полученные результаты позволяют выбрать параметры исследуемых ротационных рабочих органов, которые обеспечат формирование оптимальных параметров борозды. За счет этого повысится выровненность дна борозды и степень уничтожения сорняков, т.е. улучшится качество обработки почвы.

Ключевые слова: ротационные рабочие органы, бороздообразование, исполнительный элемент, угол атаки, кинематический параметр.

■ **Для цитирования:** Амантаев М.А., Кравченко Р.И., Золотухин Е.А., Төлеміс Т.С., Табулденов А.Н. Исследование процесса бороздообразования ротационными рабочими органами с активным приводом // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 68-73. DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-1-68-73. EDN: IRNIWK.

Scientific article

Investigation of Furrow Formation by Rotary Tillage Tools with an Active Drive

Maxat A. Amantaev,

Ph.D.(Eng.), acting associate professor,

e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru;

Ruslan I. Kravchenko,

Ph.D.(Eng.), acting associate professor,

e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru;

Yevgeniy A. Zolotukhin,

Ph.D.(Eng.), acting associate professor,

e-mail: zolotukhinel7@mail.ru;

Tursynay S. Tolemis,

Ph.D. student (Eng.),

e-mail: tursynay17@mail.ru;

Abylaikhan N. Tabuldenov,

Ph.D. student (Eng.),

e-mail: inzhenertsesna@gmail.com

A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan

Abstract. Power driven rotary tillage tools are widely used in agriculture. However, the process of furrow formation by these tillage tools remains insufficiently studied. (Research purpose) To study the process of furrow formation by the actuating elements of rotary working bodies with an active drive. (Materials and methods) The experiments were carried out on a laboratory setup in a soil bin filled with sandy soil. The attack angle of the working elements ranged from 30 to 90 degrees, and the kinematic parameter varied from 0.8 to 2.2. The actuating element of the investigated rotary tillage tools was made in both circular and elliptical blade forms with the least curvature line (the major semi-axis of the ellipse). The actuating element with an elliptical blade has the ability to adjust the angle of inclination relative to the axis of rotation of the of the tillage tool. (Results and discussion) Rotary tillage tools with a circular blade form a furrow parallel to the travel direction. It has been established that an increase in the attack angle of the tillage tool from 30 to 90 degrees results in a twofold increase in the width of the furrow. The actuating element, made along the elliptical line of the blade, forms a furrow having the shape of a parallelogram when viewed from above. At a small angle of attack, this actuating element forms a short, narrow furrow deviating from the unit's travel direction within the boundaries of the furrow width of the rotary tillage tool. (Conclusions) The results obtained make it possible to choose the parameters for the studied rotary tillage tools, which will ensure the formation of optimal furrows. This will increase the evenness of the furrow bottom and the degree of weed destruction, i.e. improved soil quality.

Keywords: rotary tillage tool, furrow formation, actuating element, angle of attack, kinematic parameter.

■ **For citation:** Amantaev M.A., Kravchenko R.I., Zolotukhin Ye.A., Tolemis T.S., Tabuldenov A.N. Investigation of furrow formation by rotary tillage tools with an active drive. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 68-73 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-68-73. EDN: IRNIWK.

Процесс обработки почвы всегда сопровождается образованием борозды, параметры которой зависят от вида, геометрических и кинематических характеристик применяемых орудий [1, 2]. Известны дисковые и кольцевые ротационные рабочие органы [3]. Во время обработки почвы они совершают поступательное и вращательное движение [4, 5].

Исполнительные элементы рабочих органов круглой формы лезвия располагаются перпендикулярно к оси вращения. В процессе работы точки лезвия описывают поверхность цилиндра [6, 7].

Ротационный рабочий орган второй разновидности снабжается исполнительными элементами, выполненными по эллиптической форме лезвия с наименьшей кривизной линии (большой полуоси эллипса) [8, 9]. Относительно оси вращения они расположены наклонно под острым углом α . За счет этого точки исполнительных элементов лезвия такой формы также описывают поверхность цилиндра [9].

Таким образом, ротационные рабочие органы принципиально отличаются друг от друга формой лезвия исполнительных элементов. Общим признаком является то, что плоскость вращения рабочих органов отклонена от направления движения на угол атаки $30^\circ < \beta < 90^\circ$. Они могут функционировать как в пассивном, так и в активном режиме. В первом случае вращение происходит за счет взаимодействия с почвой, во втором – за счет энергии, подводимой к рабочему органу от двигателя трактора [10, 11].

Исследователи, как правило, ограничиваются изучением траектории движения только одной точки лезвия рабочего органа [12]. При этом траектория одной точки не характеризует все параметры

образуемой борозды [13, 14]. Форма и параметры борозды зависят от формы лезвия исполнительного элемента, угла его наклона к оси вращения, угла атаки и кинематического режима вращения [15, 16]. Сочетание всех этих факторов дает бесконечное множество вариантов образования борозды [17]. В связи с этим необходимо изучить особенности бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов.

Цель исследования – процесс бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов с активным приводом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для постановки эксперимента была разработана и изготовлена лабораторная установка почвенного канала (рис. 1).

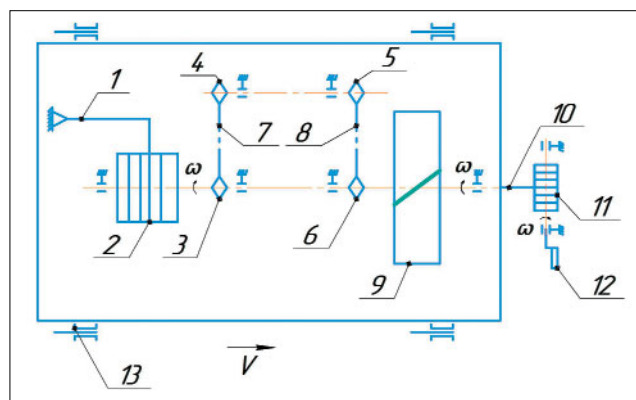


Рис. 1. Кинематическая схема лабораторной установки
Fig. 1. Kinematic diagram of a laboratory plant

В ее состав входят тросы 1 и 10 разматывающего барабана 2, блоки звездочек 3-6, цепные передачи 7 и 8, рабочий орган 9, наматывающий барабан 11 с рукояткой 12 для привода механизма, подшип-

ники скольжения 13. На лезвии исполнительного элемента закреплен заостренный маркер, имитирующий работу точки лезвия.

Особенность конструкции установки почвенного канала заключается в том, что возможно изменение кинематического режима работы исследуемых рабочих органов. Исполнительный элемент выполнен по круглой и эллиптической форме лезвия. При эллиптической форме угол наклона относительно оси вращения рабочего органа может изменяться.

Канал наполняется песчаной почвой, влажность которой в слое 0-10 см поддерживалась в пределах 20-22%. Опыты выполнялись в трехкратной повторности согласно принятому плану, приведенному в таблице.

Согласно методике исследования, после прохода рабочих органов (за один оборот) извлеченную из борозды почву аккуратно убирали. Затем при помощи белой нити и иглы очерчивались линии профиля сформированной борозды. Борозду фотографировали, и снимки обрабатывались в соответствующем масштабе с использованием программы *Compas-3D* (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Анализ полученных изображений борозды, образуемой элементами круглой и эллиптической формы лезвия, показал следующие закономерности.

Бороздообразование исполнительным элементом круглой формы лезвия

Вид сверху борозды при использовании исполнительного элемента круглой формы лезвия представлен на рисунке 3. Это непрерывная борозда, параллельная направлению движения по всей длине обрабатываемой загонки.

При проходе через почву рабочий орган совершает поступательное и вращательное движение. За счет этого точка исполнительного элемента заглубляется в почву и выглубляется из нее по определенной криволинейной траектории. По такой же траектории движется каждая точка.

От точки *A* до максимальной глубины *h* происходит заглубление, затем – выглубление до точки *Д*. Таким образом все траектории начинаются и завершаются по продольным линиям (на рисунке 3 отмечены пунктиром по направлению движения агрегата), проходящим через точки *A* и *Д*.

Проекции траекторий на горизонтальную плоскость (поверхность почвы) представляют отрезки

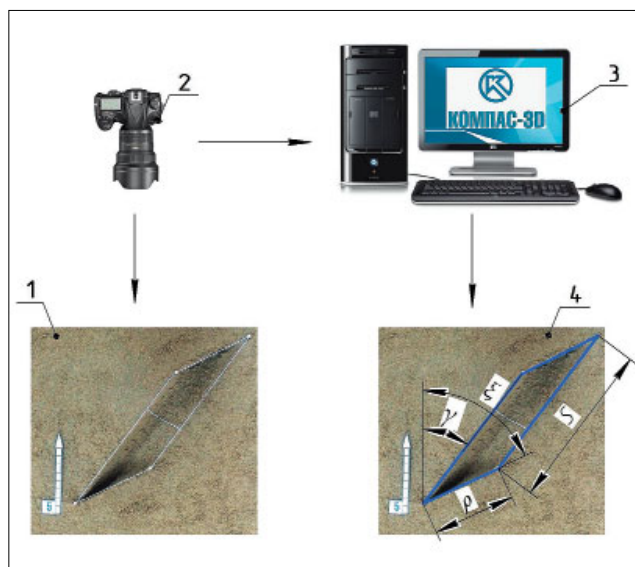


Рис. 2. Схема исследования бороздообразования исполнительным элементом: 1 – почвенный канал; 2 – фотоаппарат; 3 – персональный компьютер; 4 – борозда после обработки в программе КОМПАС-3D: *S* – продольная длина борозды, мм; *p* – поперечная длина борозды, мм; ξ – угол наклона направления дна борозды к направлению движения, град; γ – угол наклона начальной границы борозды к направлению движения, град

Fig. 2. Flow diagram for the investigation of furrow formation by the actuating element: 1 – soil bin; 2 – photo camera; 3 – personal computer; 4 – furrow after processing in the program COMPAS-3D program: *S* – the longitudinal length of the furrow, mm; *p* – the transverse length of the furrow, mm; ξ – the angle of inclination of the furrow's bottom with respect to the travel direction, degrees; γ – the angle of inclination of the furrow's initial boundary to the travel direction, degrees

прямых линии. Отрезок *AD* является проекцией траектории точки исполнительного элемента, которая обрабатывает почву. Таким образом, отрезки между продольными линиями, проходящими через точки *A* и *Д*, характеризуют проекции других точек лезвия в почву на ее поверхность. За счет прохода всех точек лезвия формируется непрерывная борозда, параллельная направлению движения агрегата. Отрезки *AD* и другие, проецирующие траектории точек лезвия, равны, параллельны и отклонены от направления движения на угол γ .

С ростом угла атаки рабочего органа от 30 до 90° ширина борозды возрастает почти в 2 раза.

Таблица	План экспериментов / THE PLAN OF EXPERIMENTS		Table
Форма лезвия исполнительного элемента рабочего органа	Круглая	Эллиптическая	
Кинематический параметр λ	0,8-2,2		
Угол наклона исполнительного элемента к оси вращения α , град	90	10-40	
Угол атаки β , град	30-90		

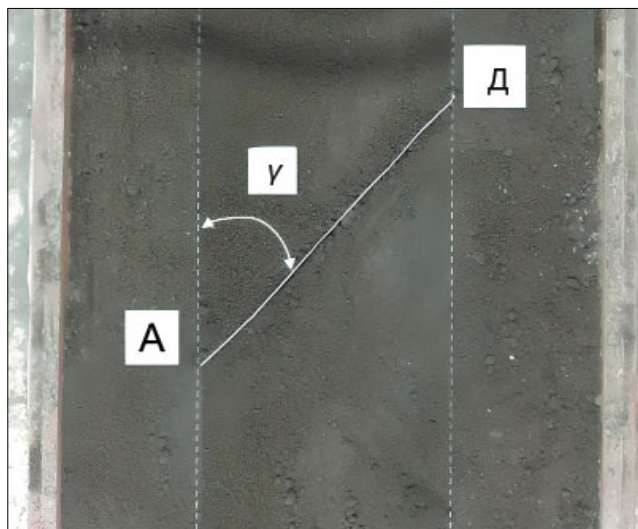


Рис. 3. Борозда, сформированная исполнительным элементом круглой формы
Fig. 3. The furrow formed by the circular actuating element

Бороздообразование исполнительным элементом эллиптической формы лезвия

Вид сверху борозды, образуемой исполнительным элементом от заглабления до полного выглабления, представляет собой параллелограмм $ABCD$ (рис. 4). Отрезки AB и CD – боковые стороны борозды параллельны, равны друг другу и отклонены от направления движения на угол ξ [12].

Во время обработки почвы передняя точка исполнительного элемента эллиптической формы лезвия заглабляется в почву и выглабляется из нее по

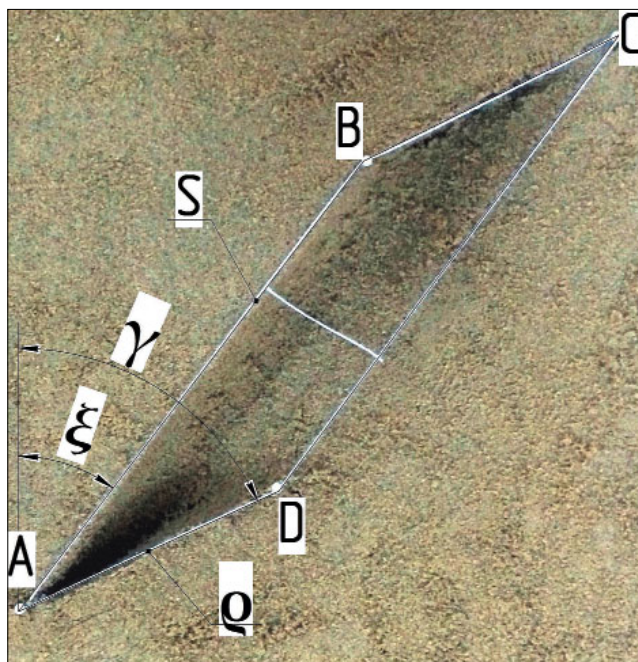


Рис. 4. Борозда, сформированная исполнительным элементом эллиптической формы лезвия
Fig. 4. The furrow formed by the actuating element with an elliptical blade

криволинейной траектории AD . Данная траектория идентична траектории движения в почве точки элемента круглой формы лезвия. Аналогично, заглабление в почву происходит от точки A до максимальной глубины h , а от h до точки D – выглабление.

Движение каждой точки лезвия начинается по линии AB и завершается по линии DC . Проекция траектории на поверхность почвы (горизонтальную плоскость) представляют отрезки прямых линий. Отрезок AD является проекцией траектории передней точки исполнительного элемента эллиптической формы лезвия, которая начинает обрабатывать почву, а отрезок BC – крайней точки лезвия, завершающей обработку почвы. Между AD и BC находятся отрезки – проекции траекторий движения других точек. После прохода всех точек лезвия в почве формируется борозда $ABCD$.

Таким образом, точки лезвий исполнительных элементов обеих рассматриваемых форм лезвия движутся в почве по совершенно одинаковым траекториям.

Отрезки AD и BC равны, параллельны и отклонены от направления движения на угол γ . Можно констатировать, что углы γ для обеих форм лезвия исполнительного элемента тоже равны. При этом с увеличением угла атаки от 30 до 90° угол ξ уменьшается до минимального значения. При малых углах атаки рабочего органа формируются более узкие и короткие борозды с отклонением направления движения агрегата в границах ширины захвата самого рабочего органа.

Выводы. Разработана методика исследования бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов, с помощью которой становится возможным найти решение задач по разработке и обоснованию параметров ротационных рабочих органов с активным приводом.

Ротационные рабочие органы с исполнительным элементом круглой формы лезвия формируют непрерывную борозду, параллельную направлению движения, по всей длине обрабатываемой загонки.

Исполнительный элемент с эллиптической формой лезвия образует борозду в виде параллелограмма. Эти борозды при малых углах атаки рабочего органа более узкие, короткие и отклонены от направления движения агрегата в пределах ширины захвата самого рабочего органа.

Точки лезвий исполнительных элементов обеих форм движутся в почве по совершенно одинаковым траекториям.

Полученные данные позволяют выбрать параметры исследуемых ротационных рабочих органов, которые обеспечат формирование оптимальной борозды. За счет этого повысится выровненность дна борозды, степень уничтожения сорняков и таким образом улучшится качество обработки почвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П., Ценч Ю.С. Комплекс машин АГРОМАШ для обработки залежных земель // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2(31). С. 40-47. EDN: RXFMCP.
2. Шаров В.В., Лобачевский Я.П. Прогноз использования почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2009. N1-2. С. 41-43. EDN: HUSGMV.
3. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 191-197. EDN: ZAWQJF.
4. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modelling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77. DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.
5. Жук А.Ф., Сохт К.А. Размещение сферических дисков фронтальных борон // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. N12(4). С. 53-56. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-53-56.
6. Вольский В.А. Определение составляющих силы тягового сопротивления сферического дискового рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N3. С. 35-38. EDN: SIWAOH.
7. Nalavade P., Soni P., Salokhe V.M. Niyamapa T. Comparative performance of standard, notched and spiral-notched tillage discs. *International Agricultural Engineering Journal*. 2011. 20(4). 18-26.
8. Кравченко Р.И., Амантаев М.А., Золотухин Е.А. и др. Особенности функционирования ротационных рабочих органов с острым углом атаки к направлению движения // *3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация*. 2022. N4. С. 149-157. DOI: 10.52269/22266-070_2022_4_149.
9. Amantayev M., Gaifullin G., Kravchenko, et al. Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24. N4. 704-709.
10. Upadhyay G., Rahman H. Specific draft estimation model for offset disc harrows. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 191. 75-84. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.021.
11. Nalavade P.P., Soni P., Salokhe V.M., Niyamapa T. Development of a powered disc harrow for on-farm crop residue management. *International Agricultural Engineering Journal*. 2013. 20(1). 49-60.
12. Матяшин Ю.И., Матяшин Н.Ю. Кинематика ротационных почвообрабатывающих машин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. N6. С. 4-7. EDN: KJBHZN.
13. Матяшин Ю.И., Матяшин Н.Ю., Матяшин А.Н. Силовой анализ работы ротационных почвообрабатывающих машин // *Вестник МГАУ*. 2008. N3. С. 46-51. EDN: JWWZPB.
14. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. T. 14. N1. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21. EDN: HYFQAN.
15. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8(278). С. 8-11. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67>. EDN: RBWZHM.
16. Акимов А.П., Константинов Ю.В., Федоров Д.И. Методика расчета сопротивления и момента сопротивления резанию почвы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. N3 (80). С. 32-35. DOI: 10.17816/0321-4443-65880.
17. Амантаев М.А., Гайфуллин Г.З., Төлеміс Т.С., Кравченко Р.И. Траектория движения кольцевого рабочего органа с активным приводом и продольной осью вращения для поверхностной обработки почвы // *3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация*. 2022. N3. С. 62-71. DOI: 10.52269/22266070_2022_3_62.

REFERENCES

1. Dmitriev S.Yu., Dmitriev Yu.P., Tsench Yu.S. Complex of AGROMASH machines for processing fallow lands. *Vestnik VIESH*. 2018. N2(31). 40-47 (In Russian). EDN: RXFMCP.
2. Sharov V.V., Lobachevsky Ya.P. Forecast of the use of tillage machines with active working bodies. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2009. N1-2. 41-43 (In Russian). EDN: HUSGMV.
3. Lobachevsky Ya.P., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Digital technologies in tillage. *Innovacii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian). EDN: ZAWQJF.
4. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modelling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.
5. Zhuk A.F., Sokht K.A. Arrangement of spherical disks for frontal harrows. *Agricultural machinery and technologies*. 2018. N12(4). 53-56 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-53-56.
6. Volsky V.A. Determination of the components of the traction resistance force of a spherical disk working body. *Agricultural machinery and technologies*. 2014. N3. 35-38 (In Russian). EDN: SIWAOH.
7. Nalavade P., Soni P., Salokhe V.M. Niyamapa T. Comparative performance of standard, notched and spiral-notched tillage discs. *International Agricultural Engineering Journal*. 2011. 20(4). 18-26 (In English).
8. Kravchenko R.I., Amantayev M.A., Zolotukhin E.A. et al. Functioning features of rotary tillage tools with an acute angle of attack to the travel direction. *3i: intellect, idea,*

- innovation – intellekt, ideya, innovatsiya*. 2022. N4. 149-157 (In Russian). DOI: 10.52269/22266070_2022_4_149.
9. Amantayev M., Gaifullin G., Kravchenko et al. Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24. N4. 704-709 (In English).
 10. Upadhyay G., Rahman H. Specific draft estimation model for offset disc harrows. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 191. 75-84 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2019.03.021.
 11. Nalavade P.P., Soni P., Salokhe V.M., Niyamapa T. Development of a powered disc harrow for on-farm crop residue management. *International agricultural engineering journal*. 2013. 20(1). 49-60 (In English).
 12. Matyashin Yu.I., Matyashin N.Yu. Kinematics of rotary tillage machines. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2008. N6. 4-7 (In Russian). EDN: KJBHZN.
 13. Matyashin Yu.I., Matyashin N.Yu., Matyashin A.N. Force analysis of the operation of rotary tillage machines. *Vestnik GAU*. 2008. N3. 46-51 (In Russian). EDN: JWWZPB.
 14. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21. EDN: HYFQAN.
 15. Akhalaia B.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S. et al. A combined unit fitted with a versatile working body for surface tillage. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020. N8(278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
 16. Akimov A.P., Konstantinov Yu.V., Fedorov D.I. Methodology for calculating the resistance and moment of resistance to soil cutting. *Tractors and agricultural machinery*. 2013. N3(80). C. 32-35 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-65880.
 17. Amantayev M.A., Gayfullin G.Z., Tolemis T.S., Kravchenko R.I. Trajectory of the ringtillage tool with the power drive and longitudinal axis of rotation for the surface tillage of soil. *3i: intellect, idea, innovation – intellekt, ideya, innovatsiya*. 2022. N3. 62-71 (In Russian). DOI: 10.52269/22266070_2022_3_62.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Амантаев М.А. – научное руководство, разработка лабораторной установки почвенного канала;
 Кравченко Р.И. – разработка методики исследования бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов;
 Золотухин Е.А. – анализ и обработка полученных в результате экспериментов данных;
 Төлеміс Т.С. – изучение состояния вопроса, изготовление лабораторной установки почвенного канала;
 Табулденов А.Н. – проведение экспериментов с двумя типами рабочих органов, анализ литературы.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Amanthaev M.A. – scientific guidance, development of the laboratory unit for the soil channel.
 Kravchenko R.I. – development of the methodology for studying furrow formation by the rotating working elements.
 Zolotukhin E.A. – analysis and processing of the data obtained from experiments.
 Tolemis T.S. – review of the state of the art, construction of the laboratory unit for the soil channel.
 Tabuldenov A.N. – conducting experiments with two types of working elements, literature review.
 The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

04.09.2023
 23.10.2023