

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-188660>

Оригинальное исследование



Особенности бороздообразования ротационными и стрелчатými рабочими органами

О.А. Бенюх, Р.И. Кравченко

Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, Костанай, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Почвообрабатывающие машины и орудия, оснащенные ротационными рабочими органами, эффективно используются на операциях поверхностной обработки почвы. Однако вопросы бороздообразования ротационными рабочими органами не раскрыты в полной мере, что является актуальной задачей для исследования.

Цель работы — раскрытие закономерностей бороздообразования ротационными рабочими органами с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии, к плоскости вращения рабочего органа.

Материалы и методы. В статье представлен графо-аналитический способ для определения параметров борозды, формируемой следующими типами ротационных рабочих органов: сферический диск со сплошной поверхностью, кольцевой рабочий орган и ротационный рабочий орган с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии, установленными под острым углом к оси вращения. Эксперименты проведены в лабораторных условиях с физической моделью ротационного рабочего органа с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии в контролируемых условиях в почвенном канале, заполненном увлажненным песком. При проведении экспериментов угол атаки составлял 20–40 градусов с шагом 10 градусов, а кинематический коэффициент, представляющий собой отношение окружной скорости к поступательной, принимал следующие значения: 1; 1,4; 1,8 и 2,2.

Результаты. Режущие ножи ротационного рабочего органа, выполненные по эллиптической линии, образуют короткие борозды, имеющие в поперечном сечении форму эллипса, и, при этом отклонены от направления движения на угол 20–40°, который принимает указанные величины в зависимости от угла атаки и кинематического коэффициента. При этом формируемые рабочим органом борозды при виде сверху представляют собой параллелограмм.

Заключение. Практическая ценность исследований заключается в раскрытии особенностей бороздообразования ротационными рабочими органами с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии, с целью создания ровного дна борозды, необходимого для посева зерновых культур.

Ключевые слова: дисковый рабочий орган; ротационный рабочий орган; эллипс; режущий нож; борозда; ширина и длина борозды; направление борозды.

Как цитировать:

Бенюх О.А., Кравченко Р.И. Особенности бороздообразования ротационными и стрелчатými рабочими органами // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 2. С. 179–186. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-188660>

Рукопись получена: 04.02.2023

Рукопись одобрена: 20.04.2023

Опубликована: 15.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-188660>

Original Study Article

Features of furrow formation with rotary and arrow-headed working bodies

Oleg A. Benyukh, Ruslan I. Kravchenko

Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan

ABSTRACT

BACKGROUND: Soil-cultivating machinery and tools equipped with rotary working bodies are effectively used at operations of surface tillage. However, the subject of furrow formation with rotary working bodies is unaddressed to the full extent that makes it a relevant issue for the study.

AIMS: Revealing the patterns of furrow formation with rotary working bodies equipped with the cutting blades made along the elliptical line at the angle to the working body rotation plane.

METHODS: The grapho-analytical method is presented in the article and used for defining the parameters of a furrow formed with the following types of rotary working bodies: a spherical disk with a closed surface, an annular working body and a rotary working body with the cutting blades made along the elliptical line and set up at the acute angle to the rotation axis. The experiments were carried out in controlled laboratory conditions with a physical model of the rotary working body with the cutting blades made along the elliptical line in a soil channel filled with dampened sand. During the experiments, the attack angle was 20–40° with a step of 10° and the kinematic coefficient, which is the ratio of circumferential velocity to transverse velocity, had the following values: 1, 1.4, 1.8 and 2.2.

RESULTS: The cutting blades made along the elliptical line form short furrows with the ellipse-shaped cross-section and with the angle of inclination from the movement direction of 20–40° depending on the attack angle and the kinematic coefficient. Meanwhile, the furrows formed with the working body have the form of a parallelogram at the top view.

CONCLUSIONS: The practical value of the study lies in revealing the features of furrow formation with rotary working bodies equipped with the cutting blades made along the elliptical line aimed to making a flat bottom of a furrow necessary for grain planting.

Keywords: *disk-shaped working body, rotary working body, ellipse, cutting blade, furrow, furrow width and length, furrow direction.*

To cite this article:

Benyukh OA, Kravchenko RI. Features of furrow formation with rotary and arrow-headed working bodies. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(2):179–186. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-188660>

Received: 04.02.2023

Accepted: 20.04.2023

Published: 15.05.2023

ВВЕДЕНИЕ

Поверхностная обработка почвы – обработка почвы на глубину не более 8 см различными почвообрабатывающими орудиями с целью ее рыхления, провокации и уничтожения сорняков и выравнивания поверхности поля [1]. Важное место в ресурсосберегающих технологиях занимает предпосевная обработка почвы, являющаяся одной из операций поверхностной обработки почвы, которая в свою очередь обеспечивает наилучшие условия для посева семян. Одним из таких условий является выровненное, уплотненное дно борозды. Это обеспечивает одновременные и равномерные всходы. Для обеспечения указанного требования используются технические средства с различными рабочими органами. Машины и орудия, оснащенные дисковыми рабочими органами, в сравнении с орудиями со стрельчатыми рабочими органами, как известно, имеют меньшее тяговое сопротивление и, вместе с тем, большую производительность [2, 3]. В то же время, они работоспособны на более влажных, засоренных почвах и не забиваются при работе на полях с высокой стерней и наличием мелких куч соломы. Однако, дисковые рабочие органы со сплошной и вырезной поверхностями обладают серьезным недостатком – на поверхности дисков формируются почвенные образования, которые приводят к затратам энергии и одновременному снижению качества выполнения технологического процесса обработки почвы [4]. Чистики не способны предотвратить данное явление. Исследования зарубежных ученых посвящены определению параметров борозды, формируемой дисковым рабочим органом со сплошной поверхностью [5]. Совершенствование

дисковых рабочих органов путем разделения сплошного режущего полотна диска на отдельные части – режущие ножи и поворот их под углом к плоскости вращения, обеспечивает условия для стабильного скольжения почвы по рабочей поверхности [6]. Однако, вопросы бороздообразования подобных рабочих органов остаются малоизученными.

Цель исследований – раскрытие закономерностей бороздообразования ротационными рабочими органами с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии, к плоскости вращения рабочего органа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для операций технологического процесса поверхностной обработки почвы (предпосевной и обработки пара) применяются машины и орудия, оснащенные пассивными рабочими органами, совершающими прямолинейное поступательное движение и ротационными рабочими органами, совершающими одновременно поступательное и вращательное движение. Основные виды машин и орудий для поверхностной обработки почвы представлены на рис. 1.

Предпосевная обработка почвы – один из главных и наиболее эффективных агротехнических приемов в борьбе с сорной растительностью. Для результативной борьбы с сорняками на глубину 3–5 см необходимо проводить предпосевную обработку на заданную глубину, в то время как орудия со стрельчатыми рабочими органами способны устойчиво работать лишь на глубине не менее 8–10 см в виду отсутствия противодействия.



Рис. 1. Виды машин и орудий для поверхностной обработки почвы.

Fig. 1. Types of machines and tools for surface tillage.

К тому же, стрелчатые рабочие органы лишь подрезают сорняки, оставляя корни в слое почвы, при всем этом приживаемость сорняков составляет порядка 10–12% [7]. Впрочем, стрелчатые рабочие органы хорошо справляются с задачей создания выровненного, уплотненного дна борозды. Их лезвия лежат в одной плоскости, и поступательное движение обеспечивает получение ровного дна борозды. Тем не менее, в перспективе остаются вопросы, связанные с повышением качества существующих агротехнических приемов [8, 9].

В условиях повышенной влажности почвы, стрелчатые рабочие органы подвержены залипанию почвой, а также обволакиванию растительными остатками и, как следствие, росту тягового сопротивления. Вследствие этого тракторы работают с большим буксованием, так как почва в весенний период находится во влажном состоянии и имеет плохие сцепные качества.

Дисковые рабочие органы, имеющие большое количество достоинств, находят широкое применение в сельском хозяйстве во многих странах мира.

В районах с почвами, подверженными ветровой эрозии, широко используются орудия с прорезными поверхностями, т.е. с кольцевыми рабочими органами. При работе указанных рабочих органов через вырезы между ободом и спицами проходят почва и растительные остатки (рис. 2). Последние равномерно распределяются

по поверхности поля и защищают почву от ветровой эрозии. Режущие ножи данных рабочих органов являются сплошными и имеют форму усеченного круглого конуса.

Ротационный рабочий орган с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии, разработан на основе кольцевого рабочего органа по следующему принципу: режущий нож разделен на части, полученные части ножей отклонены от плоскости вращения на угол α (см. рис. 2).

Технологический процесс обработки почвы осуществляется следующим образом. Ротационные рабочие органы, собранные в батареи (см. рис. 2), заглубляясь в почву за счет вращения от ВОМ, обрабатывают, осуществляя ее рыхление и подрезание сорняков.

Для обеспечения постоянной глубины обработки их режущим кромкам придали эллиптическую форму. Режущие кромки ножей совпадают с поверхностью цилиндра с диаметром, равным диаметру кольцевого рабочего органа. Данная конструкция рабочего органа способствует обеспечению скольжения почвы по поверхностям режущих ножей.

Технологический процесс работы указанным рабочим органом, следующий: ротационные рабочие органы с режущими лезвиями, выполненными по эллиптической линии, собираются в батарею, устанавливаются в один ряд под углом атаки β и имеют активный привод от вала отбора мощности трактора. При этом, заглубляясь в почву на заданную глубину, данный рабочий орган рыхлит ее, одновременно подрезая сорняки и вынося их на поверхность поля [10].

У первых двух типов рабочих органов на их рабочих поверхностях происходит налипание почвы, и формируются почвенные образования, которые ведут к ухудшению качества работы и увеличению энергоемкости обработки почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Бороздообразование дисковыми и кольцевыми рабочими органами. Дисковый рабочий орган со сплошной и прорезной поверхностями формирует борозду, схема которой представлена на рис. 3, где ось Ox характеризует направление движения почвообрабатывающего агрегата.

Фигура $AECD$ представляет собой параллелограмм и вид сверху на борозду, формируемую дисковыми рабочими органами со сплошной и прорезной поверхностями. Отрезки AE и DC – боковые стороны борозды, параллельные направлению движения агрегата, а их длина равна длине обрабатываемой загонки. В процессе работы диск одновременно совершает поступательное и вращательное движение. За счет этого каждая точка лезвия циклически заглубляется в почву и выглубляется из нее по определенной криволинейной траектории afd . Ее форму с небольшой погрешностью

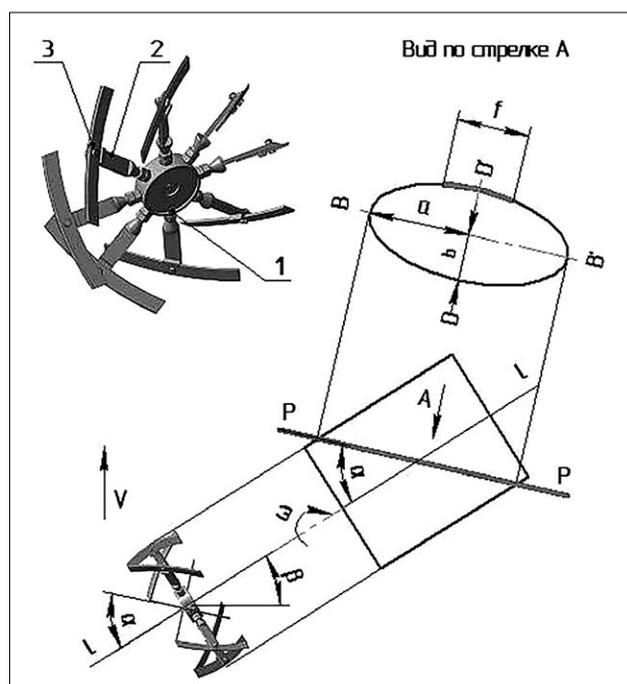


Рис. 2. Ротационный рабочий орган, режущие лезвия которого выполнены по эллиптической линии: 1 – ступица, 2 – спица, 3 – режущий нож; β – гол атаки рабочего органа, α – угол наклона режущего ножа.

Fig. 2. Rotary working body equipped with the cutting blades made along the elliptical line: 1 – a hub, 2 – a spoke, 3 – a cutting blade, β – working body attack angle, α – cutting blade inclination angle.

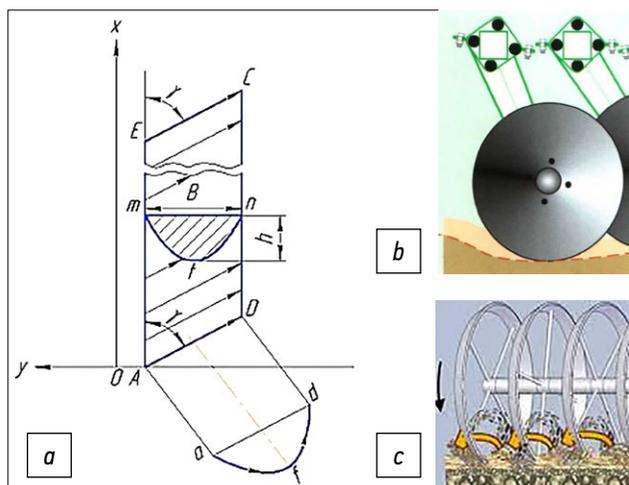


Рис. 3. К формированию схемы борозды, образуемой ротационными рабочими органами со сплошной и кольцевой поверхностями при виде сверху: *a* – схема; *b* – дисковый рабочий орган в работе; *c* – кольцевой рабочий орган в работе.

Fig. 3. Formation of a diagram of the furrow made with rotary working bodies with closed and annular surfaces at the top view: *a* – a diagram; *b* – the disk-shaped working body in operation; *c* – the annular working body in operation.

можно считать частью эллипса. По кривой *af* происходит заглупление точки лезвия в почву, а по *fd* – выглупление.

Каждая точка поверхности лезвия диска движается в почве по одинаковой траектории. Все траектории начинаются по линии *AE* и завершаются по *DC*. Отрезок *AD* является проекцией траектории точки лезвия диска, которая начинает обрабатывать почву в начале загонки. Отрезок *EC*, представляет проекцию траектории точки лезвия, завершающую обработку почвы в конце загонки. За счет прохода всех точек лезвия диска в почве формируется борозда *AECD* [11].

Поперечное сечение борозды (см. рис. 3), представляет собой часть эллипса. Большая его полуось равна радиусу диска R , а малая – $R \cdot \sin \beta$. Борозда характеризуется глубиной h и шириной B . Формы поперечных сечений борозд зависят от конфигурации контура лезвия диска и отклонения плоскости вращения диска от вертикали. Борозда, формируемая кольцевым (прорезным) рабочим органом, частично закрывается почвой и растительными остатками, перепускаемыми через отверстия в рабочем органе.

Бороздообразование ротационным рабочим органом, режущие ножи (лезвия) которого выполнены по эллиптической линии и наклонены к плоскости вращения: на рис. 4*a* показан вид сверху на борозду, формируемую одним режущим ножом от момента заглупления и до его полного выглупления. Белая стрелка с номером опыта показывает направление поступательного движения рабочего органа. Отрезки *AE'* и *DC'* представляют боковые стороны борозды *AE'C'D* и отклонены от направления движения. На рис. 4*b* приведено схематическое изображение вида сверху данной борозды, имеющей форму параллелограмма *AE'C'D*. Отрезки *AE'* и *DC'* – боковые стороны борозды. Они параллельны друг другу, равны и отклонены от направления движения агрегата на угол ξ .

На рис. 5 представлено поперечное сечение борозды, сформированной двумя смежными режущими ножами. Борозда получена в результате физического моделирования работы ротационного рабочего органа [12].

Во время работы режущие ножи попеременно заглупляются в почву и выглупляются из нее. На лезвии одного ножа выделим переднюю точку, которая начинает обработку почвы. Она заглупляется в почву и выглупляется из нее по криволинейной траектории *af'd'*. Ее форма и параметры идентичны траектории *afd*, по которой в почве двигаются точки лезвия дисковых рабочих органов со сплошной и прорезной поверхностями. Каждая

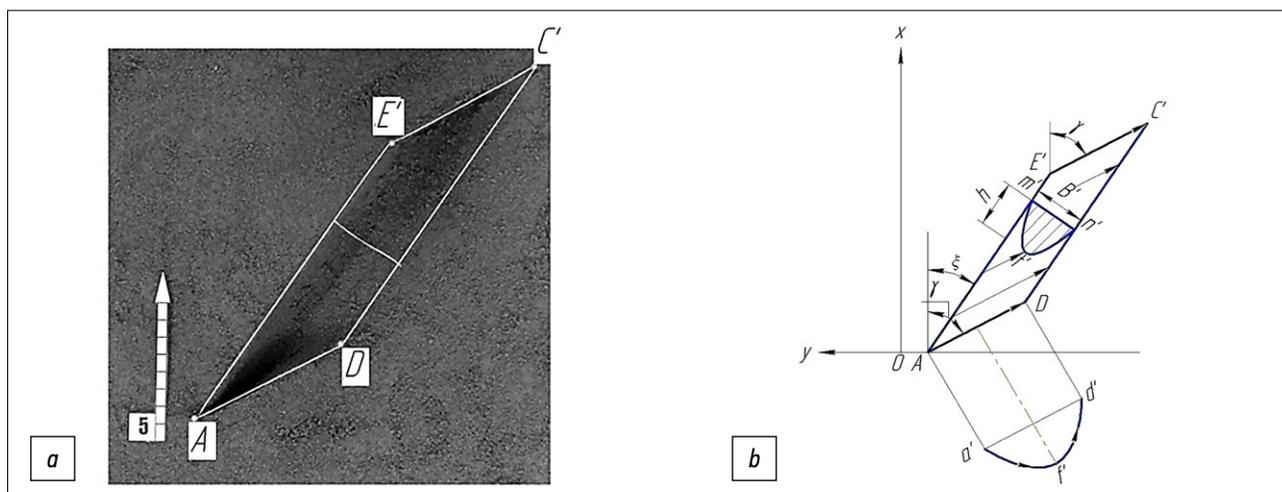


Рис. 4. Вид сверху на борозду, формируемую ротационным рабочим органом, режущие ножи которого выполнены по эллиптической линии и наклонены к плоскости вращения: *a* – общий вид; *b* – схема.

Fig. 4. Top view of the furrow formed with a rotary working body equipped with the cutting blades made along the elliptical line and inclined to the rotation plane: *a* – general view, *b* – a diagram.



Рис. 5. Поперечное сечение борозды, сформированной двумя смежными режущими ножами, выполненными по эллиптической линии.

Fig. 5. Cross-section of the furrow formed with two neighboring cutting blades made along the elliptical line.

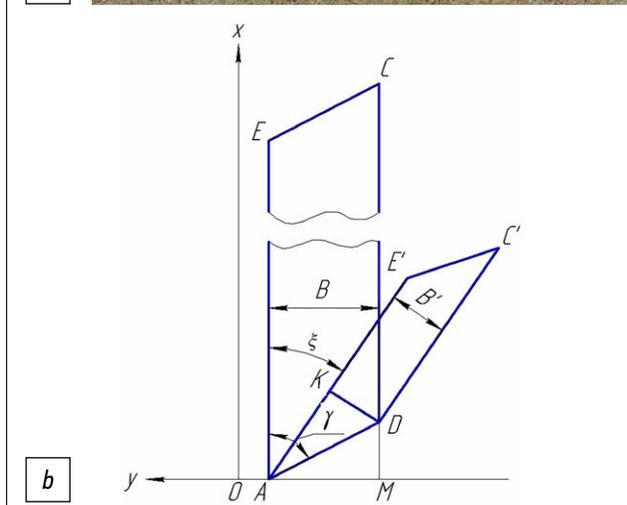
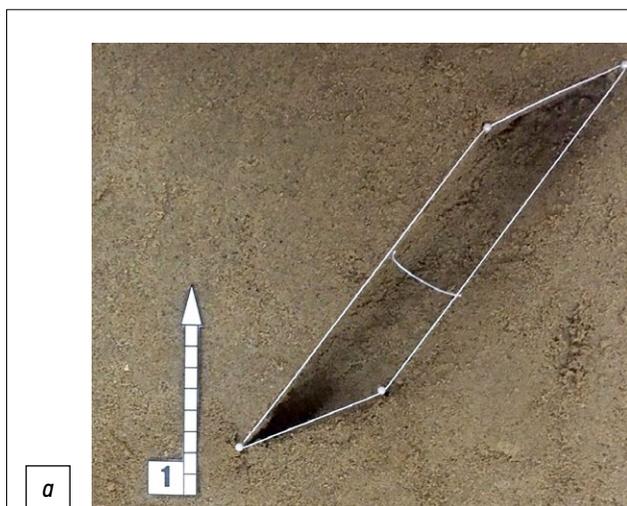


Рис. 6. Вид сверху на борозду для составления схемы к определению ширины борозды, образуемой режущим ножом ротационного рабочего органа, выполненного по эллиптической линии: *a* – общий вид; *b* – схема.

Fig. 6. Top view of the furrow for drawing up a diagram for determining the width of the furrow formed with the cutting blade of the rotary working body, made along the elliptical line: *a* – general view, *b* – a diagram.

точка лезвия движается в почве по такой траектории. Траектории движения начинаются по линии AE' и завершаются по $-DC'$. Отрезок AD является проекцией траектории передней точки лезвия ножа, которая начинает обрабатывать почву. Отрезок $E'C'$ является проекцией траектории движения в почве на горизонтальную плоскость крайней точки лезвия ножа, завершающей обработку почвы. Таким образом, точки лезвий всех трех типов дисковых рабочих органов, движаясь в почве по совершенно одинаковым траекториям.

Отрезки AD и $E'C'$ равны, параллельны и отклонены от направления движения на угол γ . Указанное свидетельствует о том, что углы γ для всех трех типов рабочих органов равны. Поперечное сечение борозды $m't'n'$ (см. рис. 4*b*) представляет собой часть эллипса. Его большая полуось равна радиусу диска R , а малая – $R \cdot \sin\beta \cdot \sin(\gamma - \xi) / \sin\gamma$. Глубина борозды равна h , а ширина – B' . Схемы борозд, приведенные на рис. 3 и 4, совместим по отрезку AD (рис. 6) [12].

Из рис. 6 следует, что ширина борозды B' , формируемой ротационным рабочим органом с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии.

Общий вид борозды, образуемой режущим ножом ротационного рабочего органа, выполненного по эллиптической линии, представлен на рис. 7. Она представляет собой криволинейную пространственную поверхность. Продольная сторона борозды отклонена от направления движения под углом ξ .

Дно борозды, образуемое режущим ножом ротационного рабочего органа, представляет желоб. Оно формируется за счет движения каждой точки режущего ножа в почве.

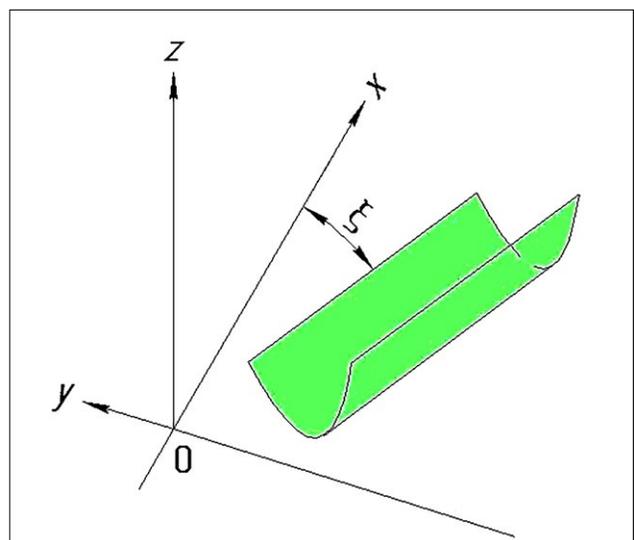


Рис. 7. Общий вид борозды, образуемой режущим ножом ротационного рабочего органа, выполненного по эллиптической линии.

Fig. 7. General view of the furrow formed with the cutting blade of the rotary working body, made along the elliptical line.

Таким образом, при одинаковой глубине обработки почвы режущий нож ротационного рабочего органа с режущими ножами, выполненными по эллиптической линии и углом наклона ко дну борозды, формирует борозду меньшей ширины, чем сплошные и прорезные дисковые рабочие органы.

ВЫВОДЫ

1. Технологический процесс бороздообразования режущим ножом ротационного рабочего органа, выполненного по эллиптической линии, характеризуется последовательным заглаблением и выглаблением всех точек режущего ножа.
2. Проекция борозды на горизонтальную плоскость представляет параллелограмм, а ее поперечное сечение имеет форму части эллипса.
3. Режущие ножи ротационного рабочего органа, выполненные по эллиптической линии, образуют короткие, узкие и, отклоненные от направления движения, борозды, в пределах ширины захвата рабочего органа.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. О.А. Бенюх — поиск публикаций по теме статьи, утверждение финальной версии;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16265-89. Земледелие. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1991.
2. Vozka P. Comparison of alternative tillage systems [MSc Thesis] Silsoe: Cranfield University, 2007.
3. Патент РК № 7009 / 17.01.2022 Бюл. № 15. Бенюх О.А. Дисковое почвообрабатывающее орудие.
4. Amantayev M., Gaifullin G., Kushnir V., et al. Soil body formation in front of the rotary tillage tools // *Biosciences, Biotechnology Research Asia*. 2016. Vol. 13, № 4. P. 1983–1988.
5. Hettiaratchi D. The soil contact zones of concave agricultural disc. Part 1. Theoretical analysis // *J. Agric. Engng. Res.* 1997. P. 113–125.
6. Патент РК №3772 / 26.10.2018. Бюл. № 40. Гайфуллин Г.З., Амантаев М.А., Кравченко Р.И., и др. Рабочий орган для обработки почвы.
7. Лежнев Ю.В. Обоснование параметров кольцевого рабочего органа орудия для поверхностной обработки почвы: дис. ... канд. техн. наук. Костанай, 2009.

REFERENCES

1. GOST 16265-89. Agriculture. Terms and Definitions. Moscow: Izd-vo standartov; 1991. (in Russ.)
2. Vozka P. Comparison of alternative tillage systems [MSc Thesis] Silsoe: Cranfield University; 2007.
3. Patent KAZ № 7009 / 17.01.2022 Byul. № 15. Benyukh O.A. Diskovoe pochvoobrabatyvayushchee orudie.

Р.И. Кравченко — редактирование текста рукописи, создание изображений. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. O.A. Benyukh — search for publications, approval of the final version; R.I. Kravchenko — editing the text of the manuscript, creating images. Authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

8. Патент РК № 6167 / 17.04.2022. Бюл. № 8. Бенюх О.А. Культиватор-глубокорыхлитель.
9. Кушнир В.Г., Бенюх О.А. Усовершенствованный рабочий орган культиватора // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. Т. 80, № 3. С. 8–9. doi: 10.17816/0321-4443-65824
10. Гайфуллин Г.З., Кравченко Р.И., Амантаев М.А. Повышение качества обработки почвы ротационными рабочими органами // Многопрофильный научный журнал Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация». 2019. № 2. С. 44–51.
11. Константинов М.М., Гайфуллин Г.З., Кушнир В.Г., и др. Обоснование закономерностей изменения количества ножей активного ротационного рабочего органа для обработки почвы // *Известия Оренбургского государственного университета*. 2017. № 5(67). С. 109–112.
12. Amantayev M., Gaifullin G., Kravchenko R., et al. Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24, № 4. P. 704–709.

4. Amantayev M, Gaifullin G, Kushnir V, et al. Soil body formation in front of the rotary tillage tools. *Biosciences, Biotechnology Research Asia*. 2016;13(4):1983–1988.
5. Hettiaratchi D. The soil contact zones of concave agricultural disc. Part 1. Theoretical analysis. *J. Agric. Engng. Res.* 1997:113–125.

6. Patent KAZ №3772 / 26.10.2018. Byul. № 40. Gayfullin GZ, Amantaev MA, Kravchenko RI, et al. Rabochiy organ dlya obrabotki pochvy.

7. Lezhnev YuV. Obosnovanie parametrov koltsevogo rabocheho organa orudiya dlya poverkh-nostnoy obrabotki pochvy [dissertation] Kostanay; 2009.

8. Patent KAZ № 6167 / 17.04.2022. Byul. № 8. Benyukh OA. Kultivator-glubokorykhitel.

9. Kushnir VG, Benyukh OA. Improved working body of the cultivator. *Tractors and agricultural machinery*. 2013;80(3):8–9. (in Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-65824

10. Gaifullin GZ, Kravchenko RI, Amantaev MA. Improving the quality of tillage with rotary working bodies. *Mnogoprofilnyy nauchnyy zhurnal Kostanayskogo gosudarstvennogo universiteta im. A. Baytursynova «3i: intellect, idea, innovation – intellekt, ideya, innovatsiya»*. 2019;2:44–51.

11. Konstantinov MM, Gaifullin GZ, Kushnir VG, et al. Substantiation of regularities of changes in the number of knives of an active rotary working body for tillage. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017;5(67):109–112. (in Russ.)

12. Amantayev M, Gaifullin G, Kravchenko R, et al. Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018;24(4):704–709.

ОБ АВТОРАХ

* Беньюх Олег Анатольевич,

доцент, канд. техн. наук,
профессор кафедры машин, тракторов и автомобилей;
адрес: Республика Казахстан, 110000, Костанай,
ул. А. Байтурсынова, д. 47;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1905-9224>;
eLibrary SPIN: 7169-4424;
e-mail: beolan@mail.ru

Кравченко Руслан Иванович,

доктор PhD,
и.о. ассоциированного профессора кафедры машин,
тракторов и автомобилей;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7456-9901>;
eLibrary SPIN: 8479-4468;
e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

* Oleg A. Benyukh,

Associate Professor, Cand. Sci. (Tech.),
Professor of the Machines, Tractors
and Automobiles Department;
address: 47 Baitursynov Street, 110000 Kostanay, Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1905-9224>;
eLibrary SPIN: 7169-4424;
e-mail: beolan@mail.ru

Ruslan I. Kravchenko,

PhD,
Acting Associate Professor of the Machines,
Tractors and Automobiles Department;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7456-9901>;
eLibrary SPIN: 8479-4468;
e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru

* Corresponding author