

DOI

УДК 631.316.44

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ С НАКЛОННЫМИ ШЕСТИУГОЛЬНЫМИ ДИСКАМИ

С.М. Яхин, И.И. Алиакберов, А.Р. Вахитов

Реферат. Для поверхностной обработки почвы широко используют ротационные орудия с дисковыми рабочими органами. В последние десятилетия проводятся интенсивные исследования по разработке ротационных орудий с многоугольными дисками. Они были реализованы на практике в виде шестиугольных дисков, закреплённых на валу под углом 90° и совершающих обычное вращательное движение вокруг его оси. Интерес представляют многоугольные диски, которые закрепляются на валу наклонно. Известное почвообрабатывающее орудие с наклонными квадратными дисками не было реализовано на практике, поскольку оказалось технологически неустойчиво и не обеспечивало равномерную глубину обработки почвы. В разработанном почвообрабатывающем орудии эти недостатки устранены. В результате исследования получены аналитические зависимости, которые позволили обосновать параметры почвообрабатывающего орудия, содержащего наклонно закреплённые шестиугольные диски: ширина захвата орудия (модуля) $B = 1,8$ м; число ротационных батарей – 2; диаметр диска $D = 0,32 \dots 0,48$ м; угол закрепления дисков на валу $\alpha > 50^\circ \dots 55^\circ$; расстояние между центрами дисков $S = 0,100 \dots 0,105$ м; число дисков в батарее $n = 17$ шт.; угол поворота (смещения) дисков один относительно другого вокруг оси вала $\varepsilon = 11,25^\circ$. Предложена формула для определения угла вхождения сегментов диска в почву. Расчёт, выполненный при $\alpha = 70^\circ$, показал, что первый и шестой сегменты входят в почву под углом $72,5^\circ$, второй и пятый – под углом 90° , третий и четвёртый – под углом $107,5^\circ$. Варьирование угла вхождения в почву способствует самоочищению междискового пространства от прилипшей почвы и растительных остатков. Величины этого показателя используются при определении тягового сопротивления орудия.

Ключевые слова: почвообрабатывающее орудие, шестиугольные диски, диаметр, угол наклона, конструктивные параметры.

Введение. Для поверхностной обработки почвы широко используют ротационные орудия с дисковыми рабочими органами [1, 2, 3]. В конструктивном плане диски выполняют круглыми, сферическими, игольчатыми, эллипсоидными и многоугольными [4, 5, 6]. Многоугольные диски почвообрабатывающих орудий были разработаны в последние десятилетия учёными Омского ГАУ [7, 8] и реализованы на практике в виде вписанных в окружность шестиугольных дисков.

Интерес представляют многоугольные диски, которые закрепляются на валу наклонно и, следовательно, совершают сложное пространственное движение. Первая попытка

разработки почвообрабатывающего орудия с наклонными квадратными дисками была предпринята исследователями из Франции [9]. Однако орудие не было реализовано, поскольку оказалось технологически неустойчивым и не обеспечивало равномерную глубину обработки почвы.

В результате наклонного закрепления квадратных дисков на валу их профильные проекции становились прямоугольными, а это приводит к нарушению постоянства расстояния от вершин квадратных дисков до оси вращения. Поэтому в процессе обработки почвы рама секции совершает вертикальные колебания, а сами диски работают рывками.

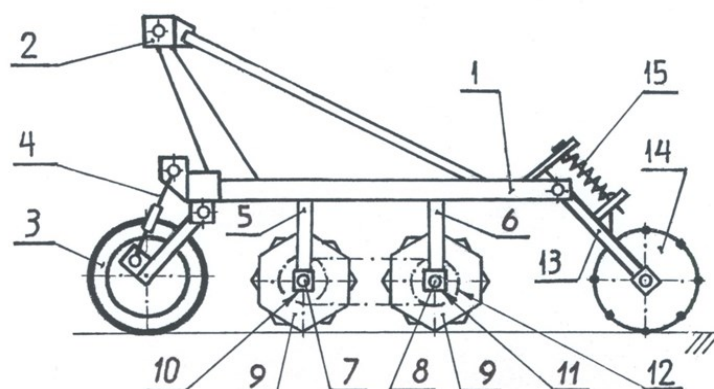


Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема орудия: 1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 – опорные колёса; 4 – винтовые механизмы регулировки глубины обработки; 5, 6 – ротационные батареи; 7, 8 – валы; 9 – наклонные шестиугольные диски; 10, 11 – подшипниковые опоры; 12 – цепная передача; 13 – шарнирные поводки; 14 – прикатывающий ротор; 15 – пружинный догрузатель

Цель исследований – обоснование параметров ротационного почвообрабатывающего орудия для поверхностной обработки почвы с наклонными шестиугольными дисками.

Условия, материалы и методы. Методика расчёта предусматривала разработку теоретических предпосылок для обоснования параметров ротационного почвообрабатывающего орудия для поверхностной обработки почвы (рис. 1), разработанного в Казанском ГАУ.

Орудие состоит из цельносварной рамы 1, навесного устройства 2, опорных колёс 3, которые снабжены винтовыми механизмами 4 регулировки глубины обработки почвы. На раме 1 размещены ротационные батареи 5 и 6, которые включают жёстко закреплённые на валах 7 и 8 наклонные шестиугольные диски 9. Валы 7 и 8 установлены на подшипниковых опорах 10 и 11 и для синхронизации работы кинематически соединены между собой при помощи цепной передачи 12. На раме 1 посредством шарнирных поводков 13 установлен также прутковый прикатывающий ротор 14, снабжённый пружинным догружателем 15.

При поступательном движении орудия шестиугольные диски 9 заглубляются в почву на заданную глубину обработки.

Благодаря силе трения почвы о рабочие поверхности, они вращаются вокруг своих осей и совершают в вертикально-поперечной плоскости дополнительное колебательное движение.

В результате активизируется процесс рыхления почвы, дробления и измельчения комков. Благодаря надёжному и стабильному

защемлению и разрезанию кромками дисков почвенно-растительной массы в двух плоскостях сорная растительность уничтожается эффективнее. Прутковый ротор 14 в свою очередь выравнивает микрорельеф, дополнительно крошит почву и уплотняет разрыхленный верхний слой. Шестиугольные диски с точки зрения геометрии исполнения представляют собой вписанные в эллипс плоские шестиугольные пластины с двухсторонней заточкой рабочих граней (рис. 2).

Они закреплены на валу батареи с наклоном большой оси эллипса к оси вала строго под углом α :

$$a = \arcsin(b/a), \quad (1)$$

где b – малая полуось эллипса, м; a – большая полуось эллипса, м.

Такое закрепление дисков обеспечивает постоянство расстояния от их вершин до оси вращения вала, поскольку только в этом случае профильная проекция эллипса, который описывает шестиугольные диски, превращается в окружность с диаметром D , следовательно, в «правильные» шестиугольники.

Методика расчётов предусматривала разработку теоретических предпосылок для обоснования параметров ротационного орудия для поверхностной обработки почвы с наклонными шестиугольными дисками и базировалась на основных положениях аналитической геометрии. Практические расчёты выполнены с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel из стандартного набора Microsoft Office.

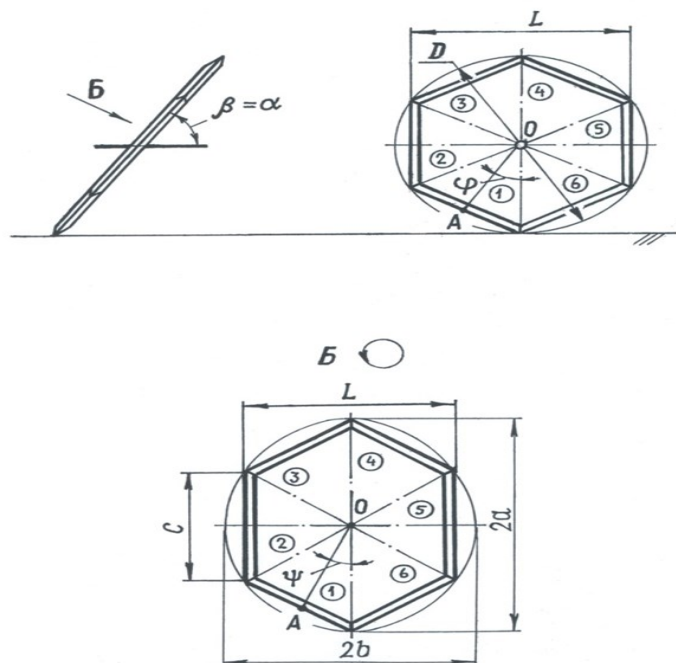


Рис. 2 – Схема наклонного шестиугольного диска: D – диаметр диска; φ – угол, характеризующий положение сегментов шестиугольника в профильной плоскости; ψ – угол, характеризующий положение сегментов шестиугольника в плоскости самого диска; $2b$, $2a$ – малая и большая оси эллипса; L , c – геометрические размеры диска

Результаты и обсуждение. Один из основных параметров почвообрабатывающего орудия – диаметр окружности, которая описывает шестиугольный диск в профильной плоскости (диаметр шестиугольного диска). Он определяется согласно известной эмпирической зависимости [10, 11]:

$$D = k a_n, \quad (2)$$

где k – коэффициент, равный для орудий поверхностной обработки почвы 4...6; a_n – глубина обработки почвы, м.

Поскольку $n = 0,08$ м, из формулы (2) имеем, что рациональные значения диаметра $D = 0,32...0,48$ м.

Значения параметров самого эллипса определяются исходя из величин диаметра D диска и угла α закрепления его на валу, согласно выражениям:

$$a = D/(2 \sin \alpha); b = D/2. \quad (3)$$

Отметим, что значение угла α , входящего в выражение (3), должно обеспечивать скользящее вхождение режущих кромок дисков в почву. Выражение для обоснования рациональной величины угла закрепления шестиугольных дисков на валу батареи имеет вид:

$$\alpha > \varphi_{тр} + i. \quad (4)$$

где $\varphi_{тр}$ – угол трения скольжения почвы о рабочую поверхность диска, град; i – угол заточки диска, град.

Если взять за основу значений угла трения различных почв о стальную поверхность рабочих органов $\varphi_{тр} = 35^\circ...40^\circ$, а угла

заточки дисков $i = 15^\circ$, то в соответствии с формулой (9) получим, что рациональная величина угла закрепления дисков на валу батареи должна соответствовать условию: $\alpha > 50^\circ...55^\circ$.

В ходе технологического процесса трехугольные сегменты (далее – сегменты) диска в течение одного оборота поочередно входят в почву под разными углами β , определяемыми по уравнению:

$$\beta = \arcsin \sqrt{\sin^2 \psi + (\sin \alpha \cos \psi)^2}, \quad (5)$$

где ψ – угол, характеризующий положение сегментов в плоскости диска, град.

Угол рассчитывается для каждого из шести сегментов в отдельности (рис. 2) в соответствии с формулой перевода угловых параметров из одной координатной системы в другую, согласно выражению:

$$\psi = \arcsin \left(\sin \alpha \sin \varphi / \sqrt{\cos^2 \varphi + (\sin \alpha \sin \varphi)^2} \right), \quad (6)$$

где φ – угол, характеризующий положение сегментов в профильной плоскости, град.

Результаты расчёта, проведённого при $\alpha = 70^\circ$, свидетельствуют о том, что значения углов β вхождения сегментов шестиугольного диска в почву в течение одного оборота различны (см. табл.).

Первый и шестой сегменты диска входят в почву под углом $72,5^\circ$, второй и пятый – под углом 90° , третий и четвёртый – под углом $107,5^\circ$. Переменный характер угла вхождения дисков в почву способствует самоочищению междискового пространства от прилипшей почвы и растительных остатков и учитывается при определении тягового сопротивления орудия [12, 13].

Таблица – Результаты расчёта параметров шестиугольного диска

Номер сегмента шестиугольного диска	φ , градус	ψ , градус	β , градус
1	30	28,5	72,5
2	90	90	90
3	150	151,5	107,5
4	210	208,5	107,5
5	270	270	90
6	330	331,5	72,5

После определения рациональных значений α и a рассчитываются параметры самого эллипса:

$$a = (2 \sin \alpha) = 0,42 \quad (2 \cdot 0,939) = 0,223 \text{ м};$$

$$b = 2 = 0,42 \quad 2 = 0,21 \text{ м}.$$

Динамическая устойчивость ротационных орудий зависит, как известно, от взаимного уравновешивания осевых реакций почвы

на рабочие поверхности в каждой батарее. В предлагаемом почвообрабатывающем орудии, в отличие от известной конструкции [9], оно достигается путём поворота (смещения) шестиугольных дисков один относительно другого вокруг оси вала по часовой или против часовой стрелки строго на угол, вычисляемый по следующей формуле:

$$\varepsilon = 180 k/(n-1), \quad (7)$$

где n – количество шестиугольных дисков в секции, k – нечётное количество периодов суммарного поворота дисков на 180° .

При проектировании орудия возникает задача рационального размещения шестиугольных дисков на валах ротационных батарей, поскольку от этого зависит качество обработки почвы и устойчивость работы

ротационного орудия [14].

Рассмотрим при следующих исходных данных и рациональных параметрах (рис. 3): ширина захвата почвообрабатывающего орудия (модуля) $B=1,8$ м; диаметр дисков $D=0,42$ м; угол закрепления дисков на валу $\alpha=70^\circ$; расстояние между центрами дисков (шаг расстановки дисков) $S=0,105$ м [15].

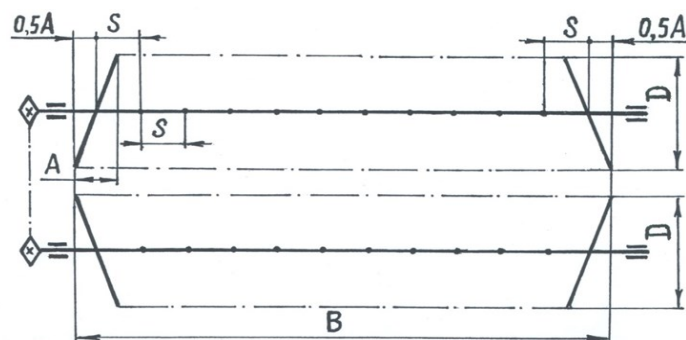


Рис. 3 – Схема расстановки шестиугольных дисков: B – ширина захвата почвообрабатывающего орудия; D – диаметр дисков; S – расстояние между центрами дисков; A – амплитуда колебаний вершин шестиугольных дисков

Ротационные батареи устанавливают, как правило, в два ряда. Определяем необходимое количество шестиугольных дисков в каждой батарее:

$$n = B/S = 1,8/0,105 = 17,14 \text{ шт.} \quad (8)$$

Округляем полученное значение количества дисков до ближайшего целого числа, то есть $n = 17$ шт.

Взяв за основу $k = 1$, рассчитаем по выражению (6) угол поворота дисков один относительно другого, обеспечивающий полное взаимное уравновешивание осевых реакций почвы:

$$\varepsilon = 180k/(n-1) = 180*1/(17-1) = 11,25^\circ.$$

Величина амплитуды колебания вершин шестиугольных дисков составит:

$$A = D/\text{tg } \alpha = 0,42 / 2,747 = 0,15 \text{ м.}$$

Проверка параметра ширины захвата показала, что его величина совпадает с заданным

значением, что указывает на правильность проведённого расчёта:

$$B = S(n-1) + 0,5A + 0,5A = 0,105(17-1) + 0,075 + 0,075 = 1,8 \text{ м.}$$

В заключение определим отдельные геометрические размеры шестиугольного диска, которые необходимы при его изготовлении (см. рис. 2, поз. Б):

$$L = D\cos 30^\circ = 0,42*0,866 = 0,363 \text{ м;} \\ c = D/(2\sin \alpha) = 0,42/(2*0,939) = 0,223 \text{ м.}$$

Выводы. Разработанные теоретические предпосылки и произведённые расчёты позволяют спроектировать ротационное почвообрабатывающее орудие для поверхностной обработки почвы с рациональными технологическими параметрами: ширина захвата $B=1,8$ м; количество ротационных батарей 2; диаметр дисков $D = 0,42$ м, угол закрепления дисков на валу $\alpha = 70^\circ$, расстояние между центрами дисков $S = 0,105$ м; количество дисков в каждой батарее $n = 17$ шт.; угол поворота (смещения) дисков один относительно другого вокруг оси вала $\varepsilon = 11,25^\circ$.

Литература

1. Valiev A., Muhamadyarov F. Study of soil stratum deformation by disc cultivator // Engineering for Rural Development Proceedings. Jelgava, 2016. P. 1378–1385.
2. Samadalashvili A. The batch-combined minimum tillage farming machine // International scientific, scientific applied and informational journal. 2015. Vol. 61. No. 3. P. 6–10.
3. Gainutdinov R., Zemdikhanov M. Kinematics of the disk working body for ground development // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. 11006. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/50/e3sconf_stcce2021_11006/e3sconf_stcce2021_11006.html (дата обращения 19.04.2022). doi: 10.1051/e3sconf/202127411006
4. Гайнутдинов Р.Х., Яхин С.М., Алиакберов И.И. Ротационное орудие для поверхностной обработки почвы с эллипсовидными дисками // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (40). С. 64–67.
5. Алиакберов И.И., Яхин С.М., Нуриев Л.М. Обоснование параметров эллипсовидного игольчатого диска почвообрабатывающего орудия // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. № 2(62). С. 65–69.

6. Яхин С.М., Гайнутдинов Р.Х., Марданов Р.Х. Ротационная борона с эллипсоидными дисками // Сельский механизатор. 2017. №6. С. 8–9.
7. Союнов А.С. Обоснование параметров дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2011. 135 с.
8. Кобяков И.Д. Механико-технологические основы работы шестиугольных дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий: дисс. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 2013. 316 с.
9. Патент Франции, заявка № 2379241, А01В 33/02, 33/08. Культиватор. Оpubл. 13.10.1978, Бюлл. № 40.
10. Обоснование и определение бороздообразователя картофелесажалки / М.Н. Калимуллин, Д.Т. Халиуллин, И.Х. Гайфуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (67). С. 84–89.
11. Математическая модель задачи о замене оборудования / В. В. Королева, Е. Г. Филиппов, В. В. Ячменева, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17. – № 3 (67). – С. 90-95. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-90-95. – EDN DWUVGO.
12. Юнусов Г. С. Теоретические исследования катка для малогабаритной почвообрабатывающей машины / Г. С. Юнусов, Н. Н. Андержанова, А. В. Алешкин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 2(62). – С. 80-85. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-80-85.
13. Влияние фертигации на засоление почвы / Б. Г. Зиганшин, И. Г. Галиев, Р. К. Хусаинов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – № 4(60). – С. 67-70. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-67-70. – EDN KMGJYM.
14. Энергосберегающая подготовка почвы под посадку хмеля / П. А. Смирнов, А. Г. Терентьев, Н. Н. Пушкаренко [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 4 (64). – С. 68-74. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-68-74. – EDN BIVSUI.
15. Галиев, И. Г. Модернизация смазочной системы подшипника турбокомпрессора дизельного двигателя / И. Г. Галиев, Е. П. Парлюк, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 3(63). – С. 67-71. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-67-71. – EDN QQSGUF.

Сведения об авторах:

Яхин Сергей Мирбатович – доктор технических наук, профессор; e-mail: jcm61@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия
 Алиакберов Ильфат Ирфанович – кандидат технических наук, технический директор;
 e-mail: aliakberovii@mail.ru
 ООО «Линда», г. Казань, Россия
 Вахитов Аделъ Раилевич – соискатель; e-mail: Gadel9090@gmail.com
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF A ROTARY IMPLEMENT FOR SURFACE TREATMENT OF SOIL WITH INCLINED HEXAGONAL DISC
S. M. Yakhin, I. I. Aliakberov, A.R. Vakhitov

Abstract. For surface tillage, rotary implements with disk working bodies are widely used. In recent decades, intensive research has been carried out on the development of rotary tools with polygonal disks. They were implemented in practice in the form of hexagonal disks mounted on a shaft at an angle of 90° and performing the usual rotational movement around its axis. Of interest are polygonal discs, which are fixed obliquely on the shaft. The well-known tillage tool with inclined square discs was not implemented in practice, since it turned out to be technologically unstable and did not provide a uniform depth of tillage. In the developed soil-cultivating tool, these shortcomings are eliminated. As a result of the study, analytical dependences were obtained, which made it possible to substantiate the parameters of a tillage tool containing obliquely fixed hexagonal disks: the width of the tool (module) capture $B = 1.8$ m; number of rotary batteries - 2; disk diameter $D = 0.32...0.48$ m; angle of fastening of discs on the shaft $\alpha > 50^\circ...55^\circ$; distance between disc centers $S = 0.100...0.105$ m; the number of disks in the battery $n = 17$; the angle of rotation (displacement) of the disks one relative to the other around the axis of the shaft $\epsilon = 11.25^\circ$. A formula was also obtained to reveal the regularity of the change in the angle of entry of the disk into the soil. The calculation showed that this angle during the rotation of the disk is a variable parameter and varies within $72.5^\circ ... 107.5^\circ$. This contributes to the self-cleaning of the inter-disk space from adhering soil and plant residues and is used in determining the traction resistance of the implement.

Key words: tillage tool, hexagonal discs, diameter, tilt angle, design parameters.

References

1. Valiev A, Mukhamadyarov F. Study of soil stratum deformation by disc cultivator. Engineering for rural development proceedings. Jelgava. 2016; 1378-1385 p.
2. Samadalashvili A. The batch-combined minimum tillage farming machine. International scientific, scientific applied and informational journal. 2015; Vol.61. 3. 6-10 p.
3. Gaynutdinov R, Zemdikhanov M. Kinematics of the disk working unit for ground development. [Internet]. E3S Web of Conferences. 2021; Vol.274. 11006. [cited 2022, April 19]. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/50/e3sconf_stcce2021_11006/e3sconf_stcce2021_11006.html. doi: 10.1051/e3sconf/202127411006
4. Gaynutdinov RKh, Yakhin SM, Aliakberov II. [Rotary tool for surface tillage with elliptical discs]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; 2 (40). 64-67 p.
5. Aliakberov II, Yakhin SM, Nuriev LM. [Substantiation of the parameters of the elliptical needle disk of a soil-cultivating tool]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; 2(62). 65-69 p.
6. Yakhin SM, Gaynutdinov RKh, Mardanov RKh [Rotary harrow with elliptical discs]. 2017; 6. 8-9 p.
7. Soyunov AS. Obosnovanie parametrov diskovykh rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh orudii: dis. ... kand.tekhn.nauk. [Substantiation of the parameters of disk working bodies of soil-cultivating implements: dissertation for a degree of Ph.D. of Technical sciences]. Omsk. 2011; 135 p.
8. Kobayakov ID. Mekhaniko-tehnologicheskie osnovy raboty shestiugol'nykh diskovykh rabochikh organov pochvoobrabatyvayuyushchikh orudii: diss. ... dokt.tekhn.nauk. [Mechanical and technological foundations of the work of hexagonal disk working units of soil-cultivating implements: dissertation for a degree of Doctor of Technical sciences. Novosibirsk. 2013; 316 p.
9. [Cultivator]. French patent, application No. 2379241, A01B 33/02, 33/08. Publ. 13.10.1978, Bull. № 40.

10. Kalimullin MN, Khaliullin DT, Gayfullin IKh. [Substantiation and definition of a furrow former for a potato-planter]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; 3(67). 84-89 p.
11. Mathematical model of the problem of equipment replacement / V. V. Koroleva, E. G. Filippov, V. V. Yachmeneva, B. G. Ziganshin // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. - 2022. - T. 17. - No. 3 (67). - S. 90-95. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-90-95. – EDN DWUVGO.
12. Yunusov G. S., Anderzhanova N. N., Aleshkin A. V. Theoretical studies of a roller for a small-sized tillage machine / Bulletin of the Kazan State Agrarian University. - 2021. - T. 16. - No. 2 (62). - S. 80-85. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-80-85.
13. Effect of fertigation on soil salinization / B. G. Ziganshin, I. G. Galiev, R. K. Khusainov [et al.] // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. - 2020. - T. 15. - No. 4 (60). – S. 67-70. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-67-70. – EDN KMGJYM.
14. Energy-saving soil preparation for planting hops / P. A. Smirnov, A. G. Terentiev, N. N. Pushkarenko [et al.] // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. - 2021. - T. 16. - No. 4 (64). - S. 68-74. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-68-74. -EDN BIVSUI.
15. Galiev, I. G. Modernization of the lubrication system of the diesel engine turbocharger bearing / I. G. Galiev, E. P. Parlyuk, B. G. Ziganshin // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. - 2021. - T. 16. - No. 3 (63). – S. 67-71. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-67-71. – EDN QQSGUF.

Authors:

Yakhin Sergey Mirbatovich - Doctor of Technical sciences, Professor; e-mail: jcm61@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
 Aliakberov Ilfat Irfanovich – Ph.D. of Technical sciences, technical director; e-mail: aliakberovii@mail.ru
 Linda LLC, Kazan, Russia
 Vakhitov Adel Railevich - applicant; e-mail: Gadel9090@gmail.com
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.