

УДК 631.171

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**КЛАССИФИКАЦИЯ РАБОЧИХ ПОЛОЖЕНИЙ ДИСКОВЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ**

Матущенко Алексей Евгеньевич  
старший преподаватель  
[archangel24@mail.ru](mailto:archangel24@mail.ru)

Кантемиров Никита Дмитриевич  
студент  
[nikitakantemirov94@mail.ru](mailto:nikitakantemirov94@mail.ru)  
*ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т.Трубилина»,  
Краснодар, Россия*

Диски являются одним из основных рабочих органов в составе сельскохозяйственной техники. В зависимости от различных параметров, диски классифицируются на несколько групп. Но, одним из главных параметров является положение диска в пространстве, так как именно этот параметр позволяет проследить за качеством обработки почвы и взаимодействием рабочего органа почвой. Таким образом, диски классифицируют по наклону их оси. В статье были приведены расчеты, позволяющие описать составленную классификацию дисков и сравнить их между собой

Ключевые слова: ДИСК, СКОРОСТЬ, ОСЬ ВРАЩЕНИЯ, ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, ПОЛОЖЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-184-006>

UDC 631.171

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

**CLASSIFICATION OF WORKING POSITIONS OF DISC-SHAPED GROWING WORKING BODIES**

Matushchenko Alexey Evgenievich  
senior lecturer  
[archangel24@mail.ru](mailto:archangel24@mail.ru)

Kantemirov Nikita Dmitrievich  
student  
[nikitakantemirov94@mail.ru](mailto:nikitakantemirov94@mail.ru)  
*Kuban State Agrarian University named after  
I.T.Trubilin, Krasnodar, Russia*

Discs are one of the main working bodies in the composition of agricultural machinery. Depending on various parameters, discs are classified into several groups. But, one of the main parameters is the position of the disk in space, as this is the exact parameter that allows you to monitor the quality of tillage and the interaction of the working body with soil. Thus, discs are classified according to the inclination of their axis. The article presents calculations that make it possible to describe the compiled classification of discs and compare them with each other

Keywords: DISC, SPEED, AXIS OF ROTATION, MOVEMENT, POSITION, CLASSIFICATION

Диски, как основные и вспомогательные рабочие органы, широко применяются в конструкциях почвообрабатывающих, посевных и уборочных машин. Существует частная классификация дисков, учитывающая их геометрическую форму и принадлежность к тому или иному орудью. Общая классификация специфична тем, что она учитывает в основном потребности сферы производства сельскохозяйственных машин.

<http://ej.kubagro.ru/2022/10/pdf/06.pdf>

В последнее время многие исследователи все больше уделяют внимания глубокому научению технологического процесса работы дисковых почвообрабатывающих рабочих органов. При этом рассматриваются всевозможные положения диска в пространстве, т.к. с изменением положения диска в пространстве изменяется качество обработки почвы, изменяется характер взаимодействия его с почвой.

Поскольку ориентация диска в пространстве оказывает существенное, влияние на процесс его взаимодействия с почвой и каждое определенное положение заслуживает самостоятельного изучения, то возникает необходимость в 1 классификации рабочих положений дисковых рабочих органов.

Исходным признаком для классификации может послужить положение оси или плоскости вращения диска по отношению к направлению его поступательного перемещения. Ось вращения перпендикулярна плоскости вращения, поэтому и то и другое можно взять за основу при составлении классификации. Остановимся на оси вращения.

Тогда можно составить такую классификацию рабочих положений дисковых почвообрабатывающих рабочих органов:

1. Диск с нормальной осью вращения (перпендикулярной направлению поступательного перемещения и параллельной плоскости поля, рис. 1, а).

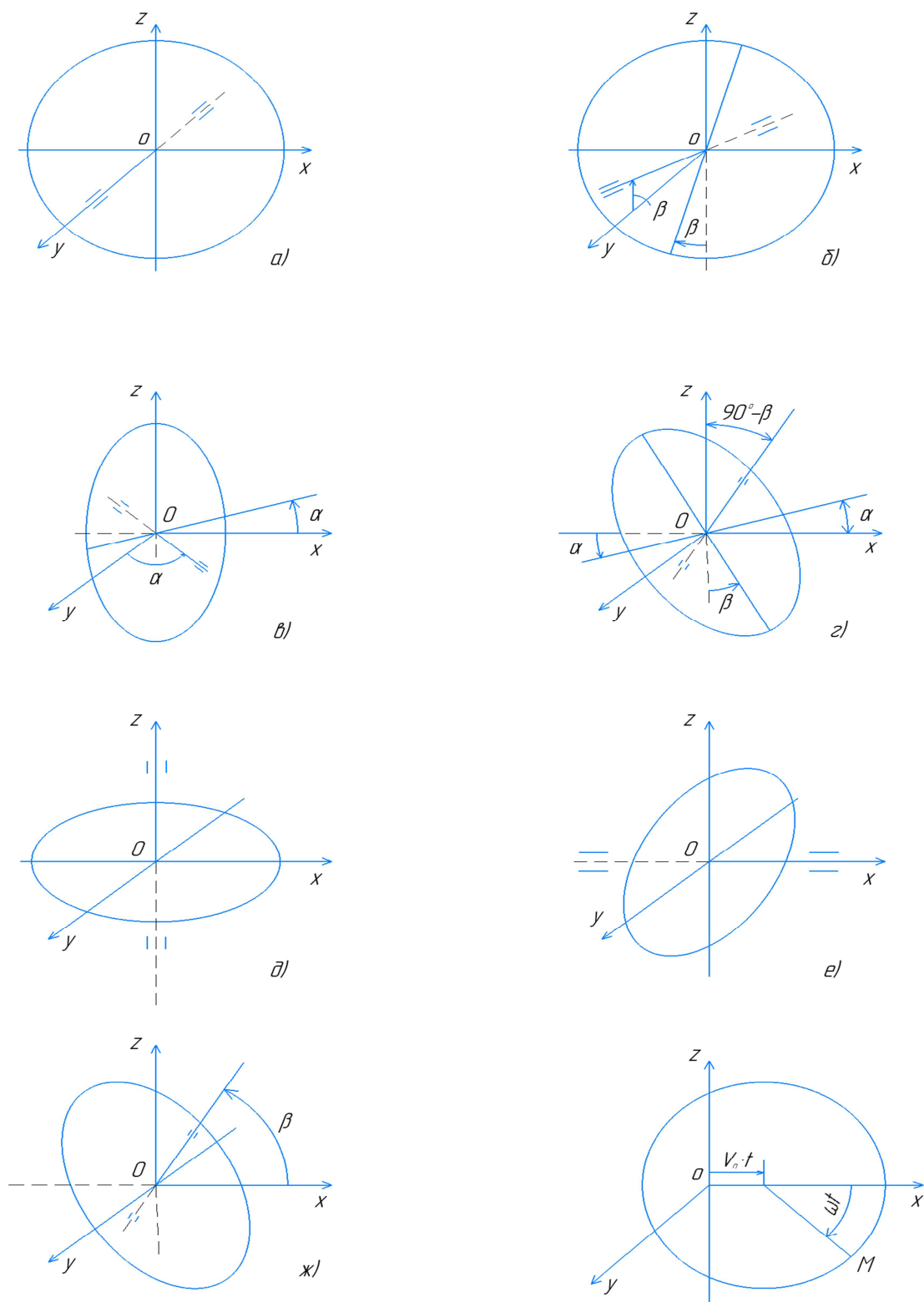
2. Диск с наклоненной осью вращения (перпендикулярной к направлению перемещения и наклоненной к плоскости поля под углом  $\beta$  рис.1,б)

3. Диск с повернутой осью вращения (параллельной плоскости поля и повернутой к направлению перемещения на угол  $(90^\circ - \alpha)$ . рис. 1, в).

4. Диск с повернутой и наклоненной осью вращения (повернутой к направлению перемещения на угол  $(90^\circ - \alpha)$  и наклоненной к плоскости поля под углом  $\beta$ , рис. 1, г.)

5. Диск с вертикальной осью вращения (перпендикулярной плоскости поля, рис. 1, д)

6. Диск с продольной осью вращения (совпадающей с направлением перемещения и параллельной ему, рис. 1, е).



7. Диск. о продольно-наклонённой осью вращения (лежащей в вертикальной плоскости, параллельно направленной перемещению и наклоненной в этой плоскости к горизонтали под углом  $\beta$ , рис. 1, ж)

Добавляя, к слову диск его геометрическую характеристику, получим классификацию рабочих положений всех видов дисков. Например: плоский диск с нормальной осью вращения, сферический диск с повернутой осью вращения и т.д.

Научные работы диска обычно начинается с рассмотрения траектории его изначальных точек, но чаще берут точку, принадлежащую лезвию.

Используя нашу классификацию, составим управление траектории и скорости точки, принадлежащей лезвию диска, занимающего различные положения в пространстве.

Возьмем левую систему прямоугольных координат и условимся, что равномерное поступательное перемещение диска каждый раз происходит вдоль оси ОХ. Запишем координаты точки лезвия плоского диска с нормальной осью вращения, в параметрическом виде (рис. 1, з)

$$\begin{aligned}x &= V_{\pi} \times R \cos \omega t \\y &= 0 \\z &= -R \sin \omega t\end{aligned}, \quad (1)$$

где  $v_{\pi}$  – поступательная скорость диска;

$t$  – время;

$\omega$  – угловая скорость диска;

$R$  – радиус диска

Уравнение (1) представляют траекторию, которую опишет любая точка, взятая на лезвии диска. С целью сокращения записи будем называть такие уравнения просто уравнениями диска, добавляя при этом его классификацию.

Поворачивая диск (1) на угол  $\alpha$  относительно оси  $O_z$ , получим уравнения плоского диска с повернутой осью вращения. В новой системе координат уравнения диска будут иметь вид:

$$\begin{aligned}x_1 &= x \cos \alpha - y \sin \alpha \\y_1 &= y \cos \alpha + x \sin \alpha, \\z_1 &= z\end{aligned}\quad (2)$$

После подстановки имеем:

$$\begin{aligned}x_1 &= v_\pi \times t \cos \alpha \cos \omega t \\y_1 &= V_\pi \times t \sin \alpha + R \sin \alpha \cos \omega t, \\z_1 &= -R \sin \omega t\end{aligned}\quad (3)$$

Как видно, после поворота диска его поступательная скорость стала равна  $v_\pi \times \cos \alpha$ , то есть уменьшилась. И теоретически она становится равной нулю при  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ . Это означает, что теоретически поступательное перемещение независимо от его рабочего положения. Учитывая это и то, что мы условились осуществлять поступательное перемещение диска вдоль оси  $Ox$ , независимо от его положения в пространстве, необходимо каждый раз слагаемое, показывающее поступательное перемещение диска вдоль оси  $Ox$ , выражать произведением  $v_\pi \times t$ . Величину  $V_\pi$ , входящую в координату  $y$ , в таком случае нужно приравнять нулю. Из этого видно, что после поворота диска нужно согласовать его прежнее и принятое поступательное перемещение, что создает определенные неудобства. Однако их можно избежать, если осуществлять поворот стационарного диска, а после поворота к координате  $X$  добавлять слагаемое  $v_\pi \times t$ , которое сделает потом этот диск перемещающимся. Можно поступить и по-другому. Взяв уже имеющиеся уравнение диска, наклоненного ко всем осям координат, и изменения углы наклона, мы получим уравнения любого рабочего положения диска. Исходными уравнениями в этом случае могут послужить уравнения, опубликованные в работе.

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + R \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + R \cos \alpha \cos \omega t \\ y &= R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t \\ z &= R \cos \beta (1 - \sin \omega t) \end{aligned}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол атаки ( угол между осью ОХ и плоскостью диска в горизонтальном сечении);

$\beta$  – угол между вертикалью и плоскостью диска;

Центр диска описываемого уравнениями (4), поднят относительно начала отсчета на величину  $R \times \cos \beta$  и смещен по оси ОУ на величину  $R \times \sin \alpha$ . После перемещения центра диска в начало координат уравнения (4) примут вид:

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + R \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + R \cos \alpha \cos \omega t \\ y &= R \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t - R \sin \alpha \cos \omega t \\ z &= -R \cos \beta \sin \omega t \end{aligned}, \quad (5)$$

Данные уравнения представляют траекторию точки лезвия плоского диска с повернутой и наклоненной осью вращения. Скорость этой точки определится уравнением:

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda(\sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t)}, \quad (6)$$

где  $\lambda = \frac{\omega R}{V_{\pi}}$ .

Для сферического диска аналогично уравнения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times \tau \sin \varphi \cos \alpha \cos \omega t + (\tau - \tau \varphi \sin \alpha \cos \beta + \tau \sin \varphi \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t \\ y &= (\tau - \tau \cos \varphi) \cos \alpha \cos \beta + \tau \sin \varphi \sin \beta \cos \alpha \sin \omega t - \tau \sin \varphi \sin \alpha \cos \omega t \\ z &= (\tau - \tau \cos \varphi) \sin \beta - \tau \sin \varphi \cos \beta \sin \omega t \end{aligned}$$

где  $\tau$  – радиус сферы диска;

$\varphi$  – половина угла при вершине конуса, в основании которого

лежит плоскость лезвия диска.

Скорость точки лезвия сферического диска выразится так:

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi + 2\lambda \sin \varphi (\sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t)}, \quad (8)$$

Поскольку уравнение (5) и (7) описывает общее положение плоского и сферического дисков, а уравнения (6) и (8) представляют скорости точек лезвий этих дисков, то аналогичные уравнения частных рабочих положений дисков легко получается путем изменения углов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Подставляя в выражения (5,6,7,8) различные значения получим уравнения, характеризующие кинематику дисков с любым расположением оси вращения в пространстве.

1. Диск с нормальной осью вращения.

$$\alpha = 0, \beta = 0$$

а) плоский

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times R \cos \omega t \\ y &= 0 \\ z &= -R \sin \omega t \end{aligned}, \quad (9)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin \omega t}, \quad (10)$$

б) сферический

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + \tau \sin \varphi \cos \omega t \\ y &= \tau - \tau \cos \varphi \\ z &= -\tau \sin \varphi \sin \omega t \end{aligned}, \quad (11)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi - 2\lambda \sin \varphi \sin \omega t}, \quad (12)$$

2. Диск с накопленной осью вращения

$$\alpha = 0, \beta \neq 0$$

а) плоский



$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + R \cos \omega t \\ y &= R \sin \beta \sin \omega t, \\ z &= -R \cos \beta \sin \omega t \end{aligned} \quad (13)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin \omega t}, \quad (14)$$

б) сферический

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + \tau \sin \varphi \cos \omega t \\ y &= (\tau - \tau \cos \varphi) \cos \beta + \tau \sin \varphi \sin \beta \sin \omega t, \\ z &= (\tau - \tau \cos \varphi) \sin \beta - \tau \sin \varphi \cos \beta \sin \omega t \end{aligned} \quad (15)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi - 2\lambda \sin \varphi \sin \omega t}, \quad (16)$$

3. Диск с повернутой осью вращения

$$\alpha \neq 0, \beta = 0$$

а) плоский

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + R \cos \alpha \cos \omega t \\ y &= -R \sin \alpha \cos \omega t, \\ z &= -R \sin \omega t \end{aligned} \quad (17)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \alpha \sin \omega t}, \quad (18)$$

б) сферический

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + \tau \sin \varphi \cos \alpha \cos \omega t + (\tau - \tau \cos \varphi) \sin \alpha \\ y &= (\tau - \tau \cos \varphi) \cos \alpha - \tau \sin \varphi \sin \alpha \cos \omega t \\ z &= -\tau \sin \varphi \sin \omega t \end{aligned} \quad (19)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi - 2\lambda \cos \alpha \times \sin \omega t}, \quad (20)$$

4. Диск с повернутой и наклоненной осью вращения ( $\alpha \neq 0$  и  $\beta \neq 0$ )

Плоский и сферический диск с указанным расположением оси вращения представлены уравнениями, соответственно (5,6) и (7,8)

5. Диск с вертикальной осью вращения

$$(\alpha = 0, \beta = \frac{\pi}{2})$$

а) плоский

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + R \cos \omega t \\ y &= R \sin \omega t \\ z &= 0 \end{aligned} \quad , \quad (21)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin \omega t}, \quad (22)$$

б) сферический

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + \tau \sin \varphi \cos \omega t \\ y &= \tau \times \sin \varphi \sin \omega t \\ z &= \tau - \tau \cos \varphi \end{aligned} \quad , \quad (23)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi - 2\lambda \sin \varphi \sin \omega t}, \quad (24)$$

6. Диск с предельной осью вращения

$$(\alpha = \frac{\pi}{2}, \beta = 0)$$

а) плоский

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t \\ y &= -R \cos \omega t \\ z &= -R \sin \omega t \end{aligned} \quad (25)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2}, \quad (26)$$

б) сферический

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + \tau - \tau \cos \varphi \\ y &= -\tau \sin \varphi \cos \omega t \\ z &= -\tau \sin \varphi \sin \omega t \end{aligned} \quad , \quad (27)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi} \quad (28)$$

7. Диск с продольно-накопленной осью вращения

$$(\alpha = \frac{\pi}{2}, \beta \neq 0)$$

а) плоский

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + R \sin \beta \sin \omega t \\ y &= -R \cos \omega t \\ z &= -R \cos \beta \sin \omega t \end{aligned}, \quad (29)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \sin \beta \cos \omega t}, \quad (30)$$

б) сферический

$$\begin{aligned} x &= V_{\pi} \times t + (\tau - \tau \cos \varphi) \cos \beta + \tau \sin \varphi \sin \beta \sin \omega t \\ y &= \tau \sin \varphi \cos \omega t \\ z &= -(\tau - \tau \cos \varphi) \sin \beta - \tau \sin \varphi \cos \beta \sin \omega t \end{aligned}, \quad (31)$$

$$V = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi + 2\lambda \sin \varphi \sin \beta \cos \omega t}, \quad (32)$$

Следует отметить, что к кинематической характеристике диска относятся и величина ускорения его точек. Поскольку вращение дисков было принято равномерным, то для всех их рабочих положений ускорение будет равно:

$$W = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2} = \omega^2 R \quad (33)$$

где для сферического диска  $R = \tau \sin \varphi$

### ВЫВОД

Сравнивая уравнения (14, 18, 22 и 12, 16, 20, 24) видим, что, если ось вращения диска пересекается с направлением его перемещения, то скорость точки лезвия диска зависит лишь от угла, атаки диска ( $\alpha$ ) и не зависит от угла его наклона к вертикали.

Скорость же диска с продольной осью вращения, как это показывают уравнения (30) и (32), зависит от угла наклона последней.

Составленная классификация рабочих положений дисковых почвообрабатывающих рабочих органов послужит основой при изучении процесса взаимодействия их с почвой.

### Список литературы

1. Патент на полезную модель № 199795 U1 Российская Федерация, МПК А01В 23/06, А01В 15/16. Дисковый почвообрабатывающий орган : № 2020111776 : заявл. 20.03.2020 : опубл. 21.09.2020 / В. В. Кузнецов, А. В. Кубышкин, Д. А. Безик [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный аграрный университет". – EDN FRSSXU.

2. Патент на полезную модель № 201758 U1 Российская Федерация, МПК А01В 7/00, А01В 49/02. Агрегат почвообрабатывающий : № 2020103244 : заявл. 24.01.2020 : опубл. 11.01.2021 / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Романов, С. Ю. Орленко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина". – EDN ZVKBRP.

3. Патент на полезную модель № 99680 U1 Российская Федерация, МПК А01В 21/00. Борола дисковая : № 2010124365/21 : заявл. 15.06.2010 : опубл. 27.11.2010 / Н. В. Семенов. – EDN OLTSQJ.

4. Стохастические исследования силовых воздействий на рабочие органы дискового / А. С. Кушнарев, Е. В. Бобровный, И. А. Шевченко, С. А. Кушнарев // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем : Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, Углич, 10–12 сентября 2012 года / Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – Углич: Федеральное государственное унитарное предприятие Издательство «Известия», 2012. – С. 303-312. – EDN TZMVPR.

5. Ахметгареев, Л. Ф. Повышение надежности рабочего органа дисковых / Л. Ф. Ахметгареев, И. А. Султанов // Байтурсиновские чтения – 2019, Костанай, 26 апреля 2019 года. – Костанай: Костанайский государственный университет им. А. Байтурсинова, 2019. – С. 337-340. – EDN ZSQGEN.

6. Войнов, В. Н. Исследование устойчивости хода дискового по глубине / В. Н. Войнов // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2012. – Т. 62. – С. 19-22. – EDN PETYTD.

7. Дробот, В. А. Оптимизация агрегата для обработки почвы горизонтально расположенными дисковыми рабочими органами / В. А. Дробот // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91. – С. 702-711. – EDN RKNKXV.

8. Патент на полезную модель № 55528 U1 Российская Федерация, МПК А01В 21/08. Агрегат дисковый почвообрабатывающий : № 2006119663/22 : заявл. 05.06.2006 : опубл. 27.08.2006 / А. В. Яценко. – EDN ELPZQW.

### References

1. Patent na poleznuyu model` № 199795 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 23/06, A01B 15/16. Diskovy`j pochvoobraty`vayushhij organ : № 2020111776 : zayavl. 20.03.2020 : opubl. 21.09.2020 / V. V. Kuznecov, A. V. Kuby`shkin, D. A. Bezik [i dr.] ;

zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya "Bryanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet". – EDN FRSSXU.

2. Patent na poleznuyu model` № 201758 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 7/00, A01B 49/02. Agregat pochvoobrabaty`vayushhij : № 2020103244 : zayavl. 24.01.2020 : opubl. 11.01.2021 / B. F. Tarasenko, V. V. Romanov, S. Yu. Orlenko [i dr.] ; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya "Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. I.T. Trubilina". – EDN ZVKBRP.

3. Patent na poleznuyu model` № 99680 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 21/00. Borona diskovaya : № 2010124365/21 : zayavl. 15.06.2010 : opubl. 27.11.2010 / N. V. Semenenko. – EDN OLTSQJ.

4. Stoxasticheskie issledovaniya silovy`x vozdeystvij na rabochie organy` diskatora / A. S. Kushnarev, E. V. Bobrovny`j, I. A. Shevchenko, S. A. Kushnarev // Modernizaciya sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva na baze innovacionny`x mashinny`x texnologij i avtomatizirovanny`x sistem : Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, Uglich, 10–12 sentyabrya 2012 goda / Vserossijskij nauchno-issledovatel`skij institut mexanizacii sel`skogo xozyajstva. – Uglich: Federal`noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatие Izdatel`stvo «Izvestiya», 2012. – S. 303-312. – EDN TZMVPR.

5. Axmetgareev, L. F. Povy`shenie nadezhnosti rabocheho organa diskatorov / L. F. Axmetgareev, I. A. Sultanov // Bajtursy`novskie chteniya – 2019, Kostanaj, 26 aprelya 2019 goda. – Kostanaj: Kostanajskij gosudarstvenny`j universitet im. A. Bajtursy`nova, 2019. – S. 337-340. – EDN ZSQGEH.

6. Vojnov, V. N. Issledovanie ustojchivosti xoda diskatora po glubine / V. N. Vojnov // Vestnik Chelyabinskoy gosudarstvennoj agroinzhenernoj akademii. – 2012. – T. 62. – S. 19-22. – EDN PETYTD.

7. Drobot, V. A. Optimizaciya agregata dlya obrabotki pochvy` gorizonta`no raspolozhenny`mi diskovy`mi rabochimi organami / V. A. Drobot // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 91. – S. 702-711. – EDN RKNKXV.

8. Patent na poleznuyu model` № 55528 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 21/08. Agregat diskovy`j pochvoobrabaty`vayushhij : № 2006119663/22 : zayavl. 05.06.2006 : opubl. 27.08.2006 / A. V. Yacenko. – EDN ELPZQW.