

УДК 631.316.02

UDC 631.316.02

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕЛКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ДИСКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ**IMPROVING THE QUALITY OF FINE SOIL TREATMENT OF HORIZONTAL DISK WORKING ORGANS**

Трубилин Евгений Иванович
д-р. техн. наук, профессор
SPIN-код автора: 6414-8130

Trubilin Evgeny Ivanovich
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code: 6414-8130

Дробот Виктор Александрович
инженер
SPIN-код автора: 7889-3176
*Кубанский государственный аграрный университет,
Краснодар, Россия*

Drobot Viktor Alexandrovich
engineer
RSCI SPIN-code: 7889-3176
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Создание машин и орудий нового поколения, высокоэкономичных, высокопроизводительных, менее энергоемких и металлоемких – глобальная задача современной науки. В данной статье на основе многочисленных исследований предложено использование эффекта колебательного движения в почвообрабатывающем рабочем органе, позволяющего усовершенствовать конструкцию почвообрабатывающих машин, снизить металлоемкость, энергоемкость, повысить качество работы. Предложен новый почвообрабатывающий рабочий орган, работающий в горизонтальной плоскости и имеющий специальные выступы (лопатки), позволяющие ему совершать возвратно-вращательное движение. Применение данного рабочего органа обеспечивает агротехническую, экологическую, энергетическую и экономическую эффективность посредством подрезания пласта почвы и корневой системы сорной растительности, крошения пласта почвы при его взаимодействии с рабочими поверхностями лопаток. За счет возвратно-вращательного движения наблюдается самоочищение рабочего органа. Приведена конструктивно-технологическая схема рабочего органа и схемы сил, действующих на предлагаемый рабочий орган в момент заглубления и при повороте рабочего органа на некоторый угол. Получены условия возвратно-вращательного движения рабочего органа, дифференциальные уравнения, позволяющие рассмотреть процесс движения рабочего органа, а также получены выражения для элементарных сил, действующих на поверхность лопатки со стороны пласта почвы движущегося по ней

The creation of machines and tools of new generation, which represent high-efficiency, high-performance and take less energy and metal is a global challenge for the modern science. In this article, based on numerous studies, it is proposed to use the effect of oscillatory motion in the working body of tillage, improving the design of tillage machines that aims to reduce metal consumption, energy intensity and improve quality of work. A new tillage working body, running in a horizontal plane and having special tabs (blades) allowing it to make a reciprocating rotational motion has been presented. The application of this working body provides agronomic, environmental, energetic and economic efficiency by trimming the layer of the soil and root system of weeds, crumbling soil layer during its interaction with the working surfaces of the blades. Due to the reciprocating rotational motion, the cleaning of the working body is observed. The constructive and technological scheme of the working body and the scheme of forces acting on the proposed working body at the moment of penetration and the rotation of the working body at a certain angle are offered. The conditions for the reciprocating rotational motion of the working body are obtained as well as differential equations allowing considering the process of movement of the working body. The article also reveals expressions for the elementary forces acting on the surface of the blade from the moving layer of soil

Ключевые слова: ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, КАЧЕСТВО, ЭНЕРГОЕМКОСТЬ, ГОРИЗОНТАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫЙ СФЕРИЧЕСКИЙ ДИСК, АГРЕГАТ

Keywords: SOIL, QUALITY, INTENSITY, HORIZONTAL SPHERICAL DISK, UNIT

Повышение качества мелкой обработки почвы горизонтально расположенными дисковыми рабочими органами

Первостепенную роль в сельскохозяйственном производстве играет обработка почвы. В настоящее время необходимо улучшать способы и системы обработки почвы, использовать более совершенные сельскохозяйственные машины [1].

Совершенствование применяемых способов обработки почвы, в том числе и мелкой, направлено на повышение ее качества, существенно влияющего на урожайность сельхозкультур и на снижение всех видов затрат: энергетических, трудовых, денежных. Применяемые машины для мелкой обработки почвы зачастую не выполняют агротехнические требования по степени крошения, структурно-агрегатному составу почвы, равномерности глубины обработки, подрезанию корневой системы сорняков и пожнивных остатков, выравненности поверхности и др. Кроме того, в результате анализа выявлено, что существующие орудия и технические средства для выполнения технологической операции обработки почвы имеют высокую энергоемкость.

В этой связи совершенствование конструкции рабочих органов машин для мелкой обработки почвы имеет высокую актуальность и практическую значимость для сельскохозяйственного производства [2, 3].

Анализ конструкций почвообрабатывающих машин и рабочих органов для поверхностной и мелкой обработок почвы, а также состояние исследований в этой области показали, что наиболее целесообразным приемом снижения тягового сопротивления, энергоемкости и улучшения качества работы машины следует считать использование в них эффекта колебания рабочего органа [4, 5].

В предлагаемом новом рабочем органе для мелкой обработки почвы использован горизонтально расположенный сферический диск (рисунок 1)

[6], установленный на вертикальной оси и снабженный выступами (лопатками), за счет которых происходит возвратно-вращательное движение, который позволяет устранить отмеченные выше недостатки по выполнению требований к качеству обработки почвы [7, 8].

При взаимодействии дискового рабочего органа на поверхности лопаток действуют силы [9]. Предположим, что точка приложения этих сил совпадает с центрами тяжести поверхностей I и II. Пусть C_I – центр тяжести поверхности I, а C_{II} – центр тяжести поверхности II (рисунок 2).

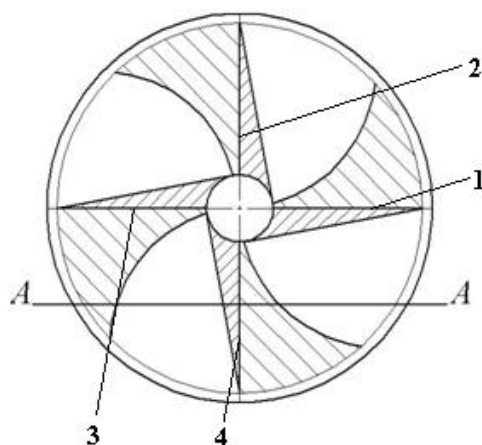
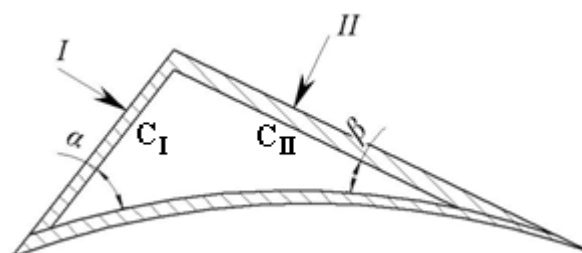


Рисунок 1 – Горизонтально расположенный сферический диск (1, 2, 3, 4 – лопатки)



I и II – поверхности лопатки;
 α и β – углы наклона поверхностей к плоскости диска

Рисунок 2 – Сечение А – А лопатки 4

Представим рабочий орган в виде схемы (рисунок 3).

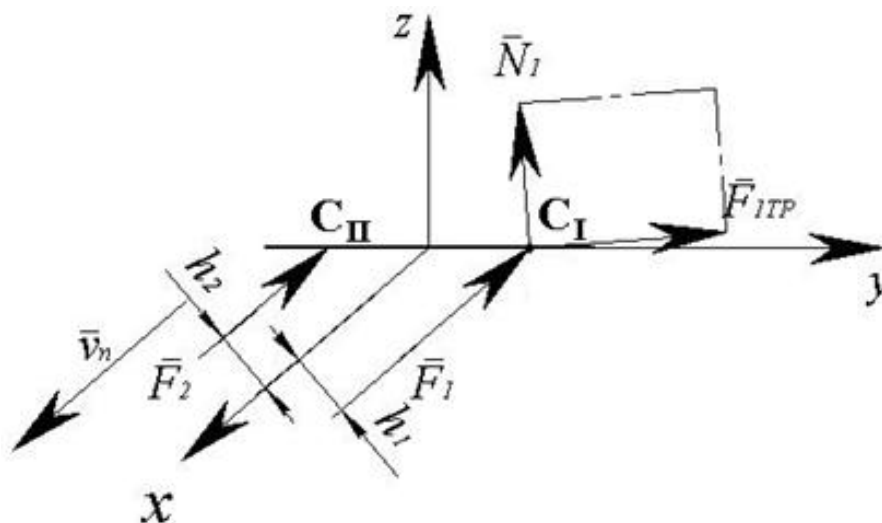


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на предлагаемый рабочий орган в момент заглубления

Согласно теории вращения дисковых рабочих органов, возмущенным движением предлагаемого дискового рабочего органа в горизонтальной плоскости будет его возвратно-вращательное движение вокруг его оси, описываемое уравнением:

$$I_{z'} \cdot \ddot{\varphi} = [(F_{\text{пост}} + F_{2(0)} \cdot \sin \omega t) \cdot h_2 - (F_{\text{пост}} + F_{1(0)} \cdot \sin \omega t) \cdot h_1] \cdot \cos \varphi, (1)$$

где $I_{z'}$ – момент инерции относительно вертикальной оси, м^4 ;

φ – угол поворота, рад;

$F_{\text{пост}}$ – постоянная составляющая силы сопротивления, Н;

$F_{1(0)}$ и $F_{2(0)}$ – изменение силы сопротивления, Н;

h_1 и h_2 – расстояния от оси вращения до центров тяжести поверхностей I и II лопаток 1 и 3, м;

ω – угловая скорость, об/мин;

t – время, мин.

Решая уравнение (1), получим изменение угла поворота, повремени.

В начальный момент времени при $t = 0$, $\varphi(t) = \varphi(0) = 0$ и $\dot{\varphi}(0) = \omega$ имеем:

$$\varphi(t) = \varphi(0) + \frac{\dot{\varphi}(0)}{1!} \cdot t + \frac{\ddot{\varphi}(0)}{2!} \cdot t^2 + \frac{\overset{\circ}{\varphi}(0)}{3!} \cdot t^3,$$

$$\ddot{\varphi}(0) = F_{\text{пост}} \cdot h_2 - F_{\text{пост}} \cdot h_1 = F_{\text{пост}} \cdot (h_2 - h_1),$$

$$\overset{\circ}{\varphi}(t) = (F_{2(0)} \cdot h_2 \cdot \omega \cdot \cos \omega t - F_{1(0)} \cdot h_1 \cdot \omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \varphi + \\ + \dot{\varphi} \cdot [(F_{\text{пост}} + F_{2(0)} \cdot \sin \omega t) \cdot h_2 - (F_{\text{пост}} + F_{1(0)} \cdot \sin \omega t) \cdot h_1] \cdot (-\sin \varphi).$$

$$\overset{\circ}{\varphi}(0) = F_{2(0)} \cdot h_2 \cdot \omega - F_{1(0)} \cdot h_1 \cdot \omega = \omega \cdot (F_{2(0)} \cdot h_2 - F_{1(0)} \cdot h_1).$$

При заданных начальных параметрах получаем зависимость угла поворота от времени движения (уравнение 2) (рисунок 4):

$$\varphi(t) = \left(0 + \frac{\omega}{1} \cdot t + \frac{F_{\text{пост}} \cdot (h_2 - h_1)}{2 \cdot 1} \cdot t^2 + \frac{\omega \cdot (F_{2(0)} \cdot h_2 - F_{1(0)} \cdot h_1)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot t^3 \right) / I_{z'} \quad (2)$$

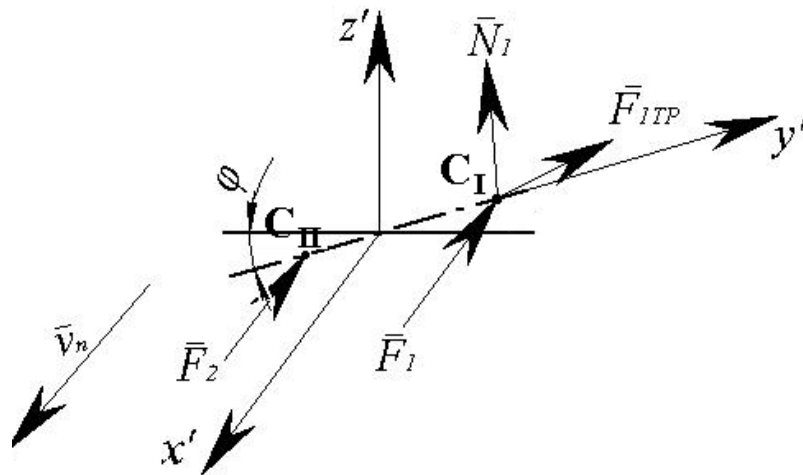


Рисунок 4 – Распределение сил, действующих на рабочий орган, при повороте на угол φ

Для рассмотрения силы, действующей на поверхность лопатки со стороны пласта, выделим из пласта двумя бесконечно-близкими плоскостями, перпендикулярными к относительной траектории частицы, элемент ABCD длиной ds (рисунок 5) и проведем в касательной плоскости к поверхности ось p по нормали к траектории [10].

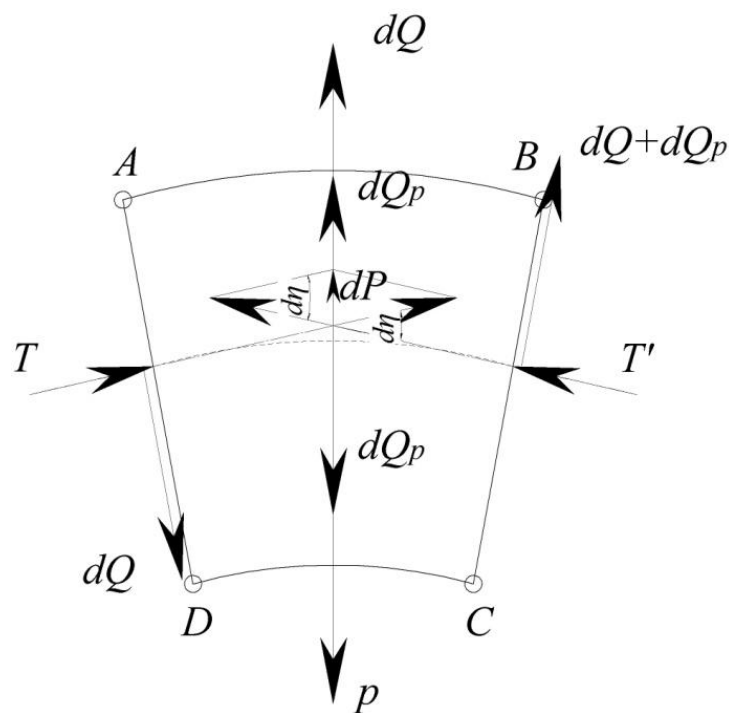


Рисунок 5 – Схема к рассмотрению сил, действующих на пласт

Выделенный элемент пласта имеет три степени свободы; он может перемещаться в двух взаимно-перпендикулярных направлениях на поверхности и, кроме того, может вращаться относительно оси, направленной по нормали к поверхности [10].

Согласно теории [10] элемент находится в равновесии под действием сил:

- dQ_p – проекции силы веса на направление выбранной оси;
- dI_p – проекции силы инерции на ось p ;
- dP – проекция элементарной подъемной силы, возникающей вследствие действия сжимающих пласт усилий (проекция равнодействующей сил T и T' на касательную плоскость к поверхности);
- dQ – проекция элементарной «упругой» силы пласта, возникающей при его изгибе в касательной плоскости к поверхности.

При этом сила dQ , согласно [10], уравнивает распределенную нагрузку от сил веса, сил инерции и подъемных сил, приходящихся на элемент дуги ds .

Таким образом, со стороны пласта на поверхность лопатки действует сила P_x , равная:

$$P_x = dQ_p + dI_p + dP \quad (3)$$

Выражения для элементарных сил dQ_p , dI_p , dP согласно [10] выглядят следующим образом:

$$dQ_p = a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds \quad (4)$$

$$dI_p = \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds, \quad (5)$$

$$dP = T \cdot k \cdot ds, \quad (6)$$

где a – толщина пласта (глубина обработки);

b – ширина пласта (радиус диска);

γ – удельный вес пласта;

ε – параметр, определяющий положение точки образующей на поверхности лезвия (рисунок 6);

τ – угол между касательной к траектории и горизонтальной прямой, проведенной через точку касания в касательной плоскости к поверхности (рисунок 7);

g – ускорение силы тяжести;

v_r – относительная скорость движения пласта;

T – сжимающее усилие в данном сечении пласта;

k – геодезическая кривизна траектории средней точки пласта.

$$k = \frac{d\eta}{ds}, \quad (7)$$

где η – угол смежности (рисунок 7).

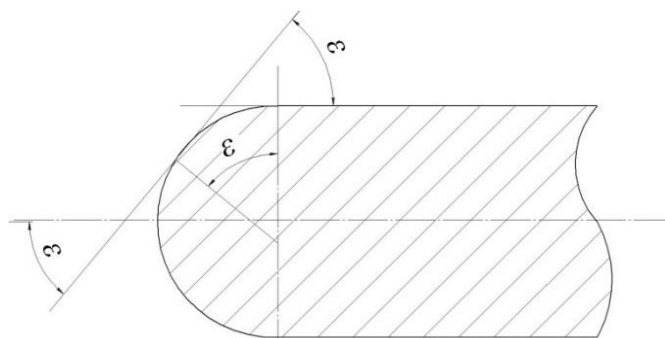


Рисунок 6 – Кривая сечения лезвия плоскостью, перпендикулярной

образующим

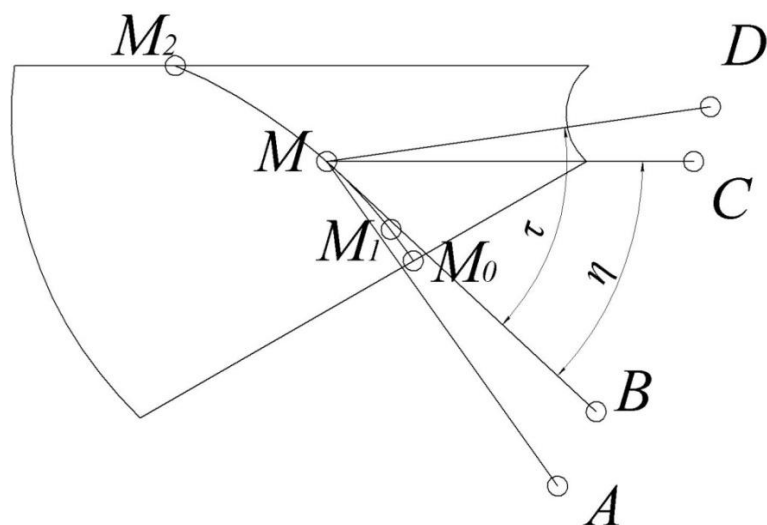


Рисунок 7 – Развертка поверхности лопатки с нанесенной на ней относительной траекторией

Подставим выражения 4 – 6 в выражение 3 получим:

$$P_x = a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds + T \cdot k \cdot ds \quad (8)$$

Согласно ранее проведенных теоретических исследований получаем условие вращения диска:

$$\left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds + T \cdot k \cdot ds \right) \cdot \sin \beta < < \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds + T \cdot k \cdot ds \right) \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

Разделим обе части неравенства на ds:

$$\begin{aligned} & \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta < \\ & < \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

При достижении определенного значения угла φ , вращение дискового рабочего органа произойдет в обратную сторону согласно условия:

$$\begin{aligned} & \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta \cdot \cos \varphi + \\ & + 2 \cdot f \cdot \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \delta + \\ & + f \cdot \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta > \\ & > \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (11)$$

где f – коэффициент трения.

Таким образом, исследования показывают, что наиболее целесообразным приемом снижения тягового сопротивления, энергоемкости и улучшения качества работы машины для обработки почвы следует считать использование эффекта колебаний рабочего органа. При этом полученное дифференциальное уравнение (2) позволяет рассмотреть процесс возвратно-вращательного движения рабочего органа, которое способствует снижению энергоемкости процесса обработки почвы и улучшению его качества, определить угол поворота рабочего органа в зависимости от времени движения и формы рабочих поверхностей лопаток. А при соблюдении условий (10) и (11) предлагаемый дисковый рабочий орган будет совершать возвратно-вращательное движение [11].

Список литературы

1. Романенко, В. А. Сельскохозяйственные машины: учебное пособие / В. А. романенко, Е. И. Трубилин, И. Б. Фурсов, С. К. Папуша, А. А. Романенко, А. С. Брусенцов, В. В. Кравченко, В. А. Миронов, В. И. Коновалов, С. В. Белоусов. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 212 с.
2. Трубилин, Е. И. Дисковые бороны и лушильники в системе основной и предпосевной обработки почвы. Проблемы и пути их решения [Электронный ресурс] / Е. И. Трубилин, К. А. Сохт, В. И. Коновалов, С. В. Белоусов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №04(088). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/45.pdf>.
3. Трубилин, Е. И. Рабочие органы дисковых борон и лушильников [Электронный ресурс] / Е. И. Трубилин, К. А. сохт, В. И. Коновалов, О. В. Данюкова // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 91 (07). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/95.pdf>.
4. Сахапов, Р. Л. Механико-технологическое обоснование параметров ресурсосберегающих культиваторов: дис. ...д-ра техн. наук : 05.20.01 / Сахапов Рустэм Лукманович. – Казань, 2002. – 381 с.
5. Трубилин, Е. И. Ротационные дисковые рабочие органы – как базовый элемент в комбинированных агрегатах для обработки почвы и посева [Электронный ресурс] / Е. И. Трубилин, К. А. сохт, В. И. Коновалов, О. В. Данюкова // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 91 (07). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/101.pdf>.
6. Пат. 2275782 Российская Федерация, МПК А01С 7/00 А01В 49/06. Устройство для посева семян зерновых культур [Текст] / Медовник А. Н., Маслов Г. Г., Тарасенко Б. Ф., Чеботарев М. И., Бугаев С. В., Дробот В. А.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2004133161/12; заявл. 12. 11. 2004; опубл. 10. 05. 2006, Бюл. № 13.
7. Дробот, В. А. Оптимизация параметров процесса поверхностной обработки почвы горизонтально расположенными дисковыми рабочими органами / В. А. Дробот, В. В. Цыбулевский // Труды Кубанского государственного аграрного университета. Вып. 2 (23). – Краснодар: КубГАУ. – 2010. – С. 181–185.
8. Дробот, В. А. Новая полевая установка для динамометрирования и результаты оценки тяговых сопротивлений почвообрабатывающего рабочего органа / В. А. Дробот, Б. Ф. Тарасенко // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №12. – С. 10–12.
9. Дробот, В. А. Горизонтальный дисковый рабочий орган / Е. И. Трубилин, В. А. Дробот, А. С. Брусенцов // Сельский механизатор. – 2014. – № 11. – С. 22–23.
10. Гячев, Л. В. Теория лемешно - отвальной поверхности / Л. В. Гячев. – Зерноград, 1961. – 317 с.
11. Горячкин, В. П. Собрание сочинений: в 3 т. / В. П. Горячкин; под ред. действ. чл. ВАСХНИЛ проф. д-ра с.-х. наук Н. Д. Лучинского. – 2-е изд. – М.: «Колос», 1968. – 455 с.

References

1. Romanenko, V. A. Sel'skhozjajstvennyye mashiny: uchebnoe posobie / V. A. romanenko, E. I. Trubilin, I. B. Fursov, S. K. Papusha, A. A. Romanenko, A. S. Brusencov, V. V. Kravchenko, V. A. Mironov, V. I. Konvalov, S. V. Belousov. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 212 s.
2. Trubilin, E. I. Diskovye borony i lushhil'niki v sisteme osnovnoj i predposevnoj obrabotki pochvy. Problemy i puti ih reshenija [Jelektronnyj resurs] / E. I. Trubilin, K. A.

Soht, V. I. Konovalov, S. V. Belousov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – №04(088). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/45.pdf>.

3. Trubilin, E. I. Rabochie organy diskovyh boron i lushhil'nikov [Jelektronnyj resurs] / E. I. Trubilin, K. A. soht, V. I. Konovalov, O. V. Danjukova // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2013. – № 91 (07). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/95.pdf>.

4. Sahapov, R. L. Mehaniko-tehnologicheskoe obosnovanie parametrov resursos-beregajushhih kul'tivatorov: dis. ...d-ra tehn. nauk : 05.20.01 / Sahapov Rustjem Lukmanovich. – Kazan', 2002. – 381 s.

5. Trubilin, E. I. Rotacionnye diskovye rabochie organy – kak bazovyj jelement v kombinirovannyh agregatah dlja obrabotki pochvy i poseva [Jelektronnyj resurs] / E. I. Trubilin, K. A. soht, V. I. Konovalov, O. V. Danjukova // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2013. – № 91 (07). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/101.pdf>.

6. Pat. 2275782 Rossijskaja Federacija, MPK A01S 7/00 A01V 49/06. Ustrojstvo dlja poseva semjan zernovyh kul'tur [Tekst] / Medovnik A. N., Maslov G. G., Tarasenko B. F., Chebotarev M. I., Bugaev S. V., Drobot V. A.; zajavitel' i patentoobladatel' Ku-banskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – № 2004133161/12; zajavl. 12. 11. 2004; opubl. 10. 05. 2006, Bjul. № 13.

7. Drobot, V. A. Optimizacija parametrov processa poverhnostnoj obrabotki pochvy gorizonta'no raspolozhennymi diskovymi rabochimi organami / V. A. Drobot, V. V. Cybulevskij // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Vyp. 2 (23). – Krasnodar: KubGAU. – 2010. – S. 181–185.

8. Drobot, V. A. Novaja polevaja ustanovka dlja dinamometrirovanija i rezul'taty ocenki t'jagovyh soprotivlenij pochvoobrabatyvajushhego rabocheho organa / V. A. Drobot, B. F. Tarasenko // Traktory i sel'hozmashiny. – 2014. – №12. – S. 10–12.

9. Drobot, V. A. Gorizonta'nyj diskovyj rabochij organ / E. I. Trubilin, V. A. Drobot, A. S. Brusencov // Sel'skij mehanizator. – 2014. – № 11. – S. 22–23.

10. Gjachev, L. V. Teorija lemeshno - otval'noj poverhnosti / L. V. Gjachev. – Zerno-grad, 1961. – 317 s.

11. Gorjachkin, V. P. Sobraenie sochninenij: v 3 t. / V. P. Gorjachkin; pod red. dejstv. chl. VASHNIL prof. d-ra s.-h. nauk N. D. Luchinskogo. – 2-e izd. – M.: «Kolos», 1968. – 455 s.