

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.3.03

## ВЫСОТА ГРЕБНЯ И ДЛИНА ДУГИ РЕЗАНИЯ ПОЧВЕННОЙ ФРЕЗЫ С МАЛЬТИЙСКИМ МЕХАНИЗМОМ В ПРИВОДЕ

**БЕЛОВ МИХАИЛ ИВАНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: B-Mikhael@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

Объект исследования – почвенная фреза с горизонтальной осью вращения, в приводе которой установлен мальтийский механизм внешнего зацепления, оснащенный крестом с радиальными пазами. Почвенная фреза с мальтийским механизмом в приводе может быть использована при обработке переувлажненных суглинистых почв. При заданной глубине рыхления и настроенной установке креста ротор и ножи в моменты входа в почву и выхода из почвы не вращаются. Целью исследования является получение расчетных оценок высоты гребней и длины дуги резания пласта почвы лезвием ножа в плоскости его вращения. Рассмотрена работа почвенной фрезы с мальтийским механизмом в приводе и без мальтийского механизма. Получены уравнения траекторий точек лезвий двух ножей фрезы в плоскости вращения. Приведен подробный алгоритм расчета высоты гребней и длины дуги резания пласта почвы, реализованный в компьютерной модели обработки почвы фрезой. Показано, что применение мальтийского механизма в приводе почвенной фрезы позволяет уменьшить высоту гребней на 10...25% и обеспечить более ровный подрез пласта. При этом длина дуги резания почвенного пласта лезвием ножа фрезы увеличивается на 1...10%.

**Ключевые слова:** почвенная фреза, компьютерная модель обработки почвы фрезой, мальтийский механизм.

**Формат цитирования:** Белов М.И. Высота гребня и длина дуги резания почвенной фрезы с мальтийским механизмом в приводе // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N2(90). С. 4-7.

## RIDGE HEIGHT AND THE LENGTH OF A SOIL CUT ARC FORMED BY A ROTARY TILLER WITH THE MALTESE MECHANISM IN THE DRIVE

**MIKHAIL I. BELOV**, DSc (Eng), Professor

E-mail: B-Mikhael@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The research object is a rotary tiller with a horizontal axis of rotation, with the Maltese mechanism installed in the drive and equipped with a cross with radial grooves. A rotary tiller with the Maltese mechanism in the drive can be used when tilling extremely wet loamy soils. Under the given depth of cutting and preset knife position, the rotor does not rotate at the moment of blades penetrating the soil and going out of it. The aim of the study is to obtain the estimates of the ridge height and the length of a soil cut arc formed by a rotary tiller knife in the plane of its rotation. The paper considers the operation of a rotary tiller equipped with the Maltese mechanism and without it. The author has obtained equations of the trajectories for two tiller knives in the plane of their rotation. The paper presents a detailed algorithm for calculating the ridge height and the length of a soil cut arc implemented in a computer model of the rotary soil tillage. It has been shown that the use of the Maltese mechanism in the rotary tiller drive could reduce the ridge height by 10...25% and ensure smoother cutting. The length of a soil cut arc formed by a rotary tiller knife has been increased by approximately 1...10%.

**Keywords:** rotary tiller, computer model of soil cultivation with rotary tiller, Maltese mechanism.

**For citation:** Belov M.I. Ridge height and the length of a soil cut arc formed by a rotary tiller with the maltese mechanism in the drive. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 2(90): 4-7. (In Rus.).

**Введение.** Работа пахотных плугов на переувлажненных и глинистых почвах не обеспечивает образование почвенных комков заданных размеров. Применение почвенных фрез позволяет улучшить структуру пахотного слоя с образованием комков заданных размеров [1, 2]. Рыхление почвы осуществляется нарезанием комков режущими кромками ножей почвенной фрезы и разрушением комков хрупкой почвы после ударов их ножами и задним щитком. Вопросы нарезания комков почвенной фрезой достаточно изучены [3-5]. Эффективность почвенных фрез снижается при обработке переувлажненных суглинков, когда комки почвы, отбрасываемые ножами фрезы, налипают на задний щиток корпуса фрезы и не разрушаются. В этом случае рыхление целесообразно осуществлять за счет внедрения ножей в почву и разделения пласта на комки без отбрасывания их на задний щиток. Применение мальтийского механизма в приводе позволит обеспечить вход и выход ножей в пласт почвы при нулевой угловой скорости вращения ротора [6]. Теоретические исследования и компьютерное моделирование движения ножей фрезы показали, что установка мальтийского механизма принципиально изменяет кинематику ножей, но при определенных условиях траектория точки лезвия ножа в слое почвы изменяется несущественно [7]. В связи с этим представляет интерес выявить влияние мальтийского механизма в приводе почвенной фрезы на высоту гребней и длину дуги резания почвенного пласта ножом в плоскости вращения ножа.

**Цель исследования** – расчет высоты гребней и длины дуги резания почвенного пласта ножом почвенной фрезы с мальтийским механизмом в приводе.

**Материал и методы.** Методы расчета высоты гребней и длины дуги резания почвенного пласта ножом базируются на законах кинематики точки в теоретической механике. Компьютерная модель рыхления почвы фрезой реализована в среде программирования «Lazarus» (Version № : 1.8.4).

Фреза почвенная содержит корпус, редуктор с коническими колесами, мальтийский механизм внешнего зацепления, состоящий из водила с пальцами и креста, вал которого одновременно служит и валом ротора с ножами, соединяясь соосно с ним через редуктор или мультипликатор. При равномерном вращении водила один из пальцев заходит в радиальный паз креста. В моменты входа пальца в паз и выхода пальца из паза угловая скорость креста равна нулю.

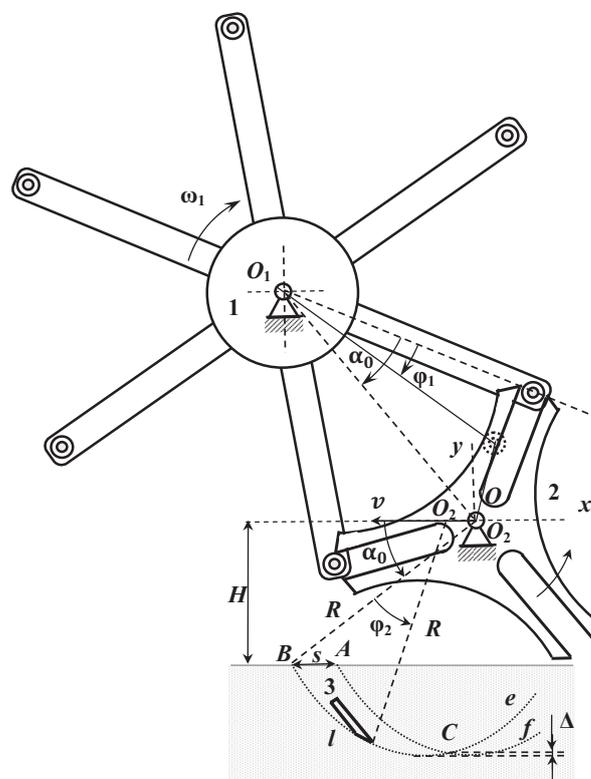
**Результаты и обсуждение.** Введем следующие обозначения:  $\varphi_1$  – угол поворота водила с отсчетом от полярной оси, перпендикулярной оси вращения водила и проходящей через ось водила и ось пальца в положении входа пальца в радиальный паз креста, рад;  $\alpha_0$  – угол, равный половине угла поворота водила за время движения пальца в пазу, рад;  $\varphi_2$  – угол поворота креста с отсчетом от полярной оси, перпендикулярной оси вращения креста и проходящей через эту ось и ось пальца в положении входа в паз креста, рад;  $\omega_1$  – угловая скорость водила, рад/с;  $i$  – число пальцев водила;  $j$  – число пазов креста;  $u$  – передаточное отношение редуктора или мультипликатора, соединяющего валы креста и ротора фрезы;  $Oxy$  – неподвижная система декартовых координат с горизонтальной осью  $Ox$  и вертикальной осью  $Oy$ ;  $R$  – радиус фрезы, м;  $H$  – расстояние от оси ротора до пахотного пласта, м;  $\Delta$  – высота гребня, м;  $l$  – длина дуги резания пласта почвы лезвием ножа, м;  $s$  – подача на нож,

м;  $v$  – скорость точки корпуса фрезы вдоль оси  $Ox$ , м/с;  $\lambda$  – кинематический показатель ( $\lambda = R\omega_1/v$ ).

Во избежание жесткого удара водила с крестом скорость центра пальца водила в момент входа в паз креста должна быть направлена вдоль паза, и при равномерном расположении пальцев и пазов должно соблюдаться следующее равенство

$$\pi i + \pi j = \pi/2 \text{ или } 1/i + 1/j = 1/2.$$

Следовательно, можно принять  $i = 6; j = 3; u = 1$ . Таким образом, за время движения пальца в пазу креста и поворота водила на угол  $60^\circ$  угол поворота ножа фрезы составит  $120^\circ$ . Установим ножи фрезы так, чтобы в момент входа пальца водила в паз креста нож входил в почву. Тогда непрерывность рыхления обеспечат три ножа на окружности ротора в одной плоскости вращения. При этом в моменты входа в пласт ротор не вращается вокруг своей оси (рис. 1).



**Рис. 1. Схема почвенной фрезы:**  
1 – водило; 2 – крест на валу ротора; 3 – нож;  
 $f, e$  – траектории точек лезвий первого ножа  
и следующего за ним второго ножа в плоскости вращения

**Fig. 1. Scheme of a rotary tiller:**  
1 – a pinion carrier; 2 – a cross-member mounted  
on the rotor shaft; 3 – a knife;  
 $f, e$  – trajectories of the points of the first knife blades  
and the second knife following it in the plane of rotation

По определению

$$\alpha_0 = \pi/i. \tag{1}$$

Угловая скорость ротора в момент выхода ножа из пласта равна нулю в том случае, когда выполняется равенство

$$H = R \cdot \sin \alpha_0. \tag{2}$$

Запишем выражение для угла поворота креста с ротором [8]:

$$\varphi_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_0 - \arctg \frac{\cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \varphi_1)}{1 - \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \varphi_1)}, \quad (3)$$

где  $0 \leq \varphi_1 \leq 2\alpha_0$ .

Уравнение траектории  $e$  точки лезвия ножа с учетом равенства (2) в параметрическом виде запишем так:

$$x = -R \cdot \cos(\alpha_0 + \varphi_2) - R \varphi_1 / \lambda; \quad y = -R \cdot \sin(\alpha_0 + \varphi_2). \quad (4)$$

Траектория  $f$  точки лезвия предшествующего ножа совпадает с траекторией  $e$ , сдвинутой вдоль оси  $Ox$  на величину подачи  $s$ :

$$x = -R \cdot \cos(\alpha_0 + \varphi_2) - R \varphi_1 / \lambda + s; \quad y = -R \cdot \sin(\alpha_0 + \varphi_2). \quad (5)$$

По определению

$$\lambda = \frac{2\pi}{i} \cdot \frac{s}{R}. \quad (6)$$

Длина  $l$  дуги резания равна длине дуги  $BC$  траектории  $e$ , концы которой находятся в точке  $B$  входа ножа в пласт и в точке  $C$  пересечения этой траектории с траекторией  $f$  (рис. 1).

Высоту  $\Delta$  гребня и длину  $l$  дуги резания можно рассчитать по формулам:

$$\Delta = R + y_C; \quad (7)$$

$$l = \int_0^{\varphi_C} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\varphi_1}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\varphi_1}\right)^2} d\varphi_1, \quad (8)$$

где  $\varphi_C, y_C$  – значение параметра  $\varphi_1$  и координата по оси  $y$  точки  $C$ .

Приближенное значение определенного интеграла в формуле (8) с любой точностью можно оценить по выражению

$$l = \int_{\varphi_1=0}^{\varphi_C} \sqrt{[x(\varphi_1 + \Delta\varphi) - x(\varphi_1)]^2 + [y(\varphi_1 + \Delta\varphi) - y(\varphi_1)]^2}, \quad (9)$$

где  $\Delta\varphi$  – шаг параметра  $\varphi_1$ .

Высота гребней характеризует качество среза почвы ножами фрезы. Длина дуги резания влияет на затраты энергии при обработке почвы фрезой и характеризует энергоемкость [9].

Уравнения (4-5), (7), (9) можно использовать и для расчета высоты гребней и длины дуги резания почвенной фрезы без мальтийского механизма с равномерно вращающимся ротором при той же подаче, если формулу (3) записать так:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{i}{j}. \quad (10)$$

Алгоритм расчета высоты гребней, длины дуги резания пласта и расстояния от оси ротора до пласта будет следующим:

1. Задаем исходные данные:  $i = 6; j = 3; n = 1; R = 0,28$  м;  $s = 0,02 \dots 0,08$  м.
2. Вычисляем параметр  $\alpha_0$  по формуле (1).
3. Вычисляем кинематический показатель  $\lambda$  по формуле (6).
4. Вычисляем расстояние  $H$  от оси ротора до пласта по формуле (2).

5. Устанавливаем шаг  $\Delta\varphi$  угла поворота водила:  $\Delta\varphi = 2\alpha_0/20000$ .

6. Назначаем начальное значение угла поворота водила  $\varphi_1$ :  $\varphi_1 = 0$ .

7. Увеличиваем параметр  $\varphi_1$  на шаг  $\Delta\varphi$ .

8. Вычисляем параметр  $\varphi_2$  по формуле (3).

9. Вычисляем координату  $x_f$  точки траектории  $f$  по первой формуле (5).

10. Устанавливаем новое значение угла  $\varphi_1$  поворота водила для вычисления координат симметричных точек траектории  $e$ :

$$\varphi_1 = 2\alpha_0 + \varphi_1.$$

11. Вычисляем координату  $x_e$  точки траектории  $e$  по первой формуле (4).

12. Проверяем неравенство  $x_f < x_e$ . Если оно выполняется, то повторяем действия согласно пунктам 7-12.

13. Вычисляем параметры  $x_C, y_C$  как координаты  $x, y$  по формулам (4).

14. Вычисляем высоту гребня по формуле (7).

15. Назначаем начальное значение параметров  $\varphi_1$  и  $l$ :  $\varphi_1 = 0; l = 0$ .

16. Вычисляем угол поворота креста с ротором  $\varphi_2$  по формуле (3).

17. Вычисляем параметры  $x_1, y_1$  как координаты  $x, y$  по формулам (4).

18. Увеличиваем угол поворота водила  $\varphi_1$  на шаг  $\Delta\varphi$  и вычисляем угол поворота ротора  $\varphi_2$  по формуле (3).

19. Вычисляем параметры  $x_2, y_2$  как координаты  $x, y$  по формулам (4).

20. Проверяем неравенство  $x_2 < x_C$ . Если оно справедливо, то выполняем следующие шаги:

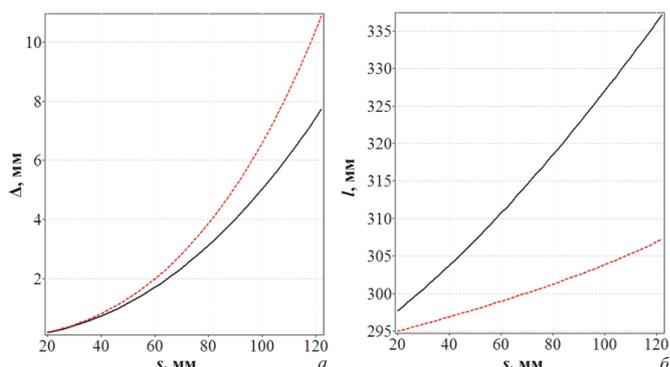
– увеличиваем длину  $l$  дуги резания на величину

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2};$$

– назначаем  $x_2 = x_1; y_2 = y_1$ ;

– выполняем действия согласно пунктам 18-20.

Расчеты показали, что применение мальтийского механизма в приводе фрезы приводит к уменьшению высоты гребня на 10...25% (рис. 2, а). Применение мальтийского механизма увеличивает длину дуги резания на 1...10% (рис. 2, б).



**Рис. 2. Зависимости высоты  $\Delta$  гребней (а) и длины  $l$  дуги резания (б) от подачи на нож:**  
 — для фрезы с мальтийским механизмом;  
 - - - без мальтийского механизма

**Fig. 2. Dependences of the height  $\Delta$  of ridges (а) and the cutting arc length  $l$  (б) on the knife feed:**  
 — for a rotary tiller with the Maltese mechanism;  
 - - - without the Maltese mechanism

**Выводы**

Применение мальтийского механизма в приводе почвенной фрезы позволяет обеспечить более ровный срез пласта с уменьшением высоты гребней на 10...25%, а также увеличение длины дуги резания пласта лезвием ножа на 1...10%.

**Библиографический список**

1. Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И. и др. Теория конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1978. 561 с.
2. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.
3. Celik A., Altikat S. Geometrical analysis of the effects of rotary tiller blade path on the distribution of soil slice size. *Applied Engineering in Agriculture*. 2008; 24(4): 409-413. DOI: 10.13031/2013.25138.
4. Celik A., Ozturk I. and Way T.R. A Theoretical Approach for Determining the Irregularity of Soil Tillage Depth Caused by Horizontal Axis Rotary Tillers. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. 10:1. January 2008.
5. Hendrick J.G. and Gill W.R. 1978. Rotary-tiller design parameters: Part V. Kinematics. Transactions of the ASAE21(4): 658-664.
6. Фреза почвенная: Патент РФ RU178644U1. 2018 / М.И. Белов, С.В. Сорокин. URL: <https://patents.google.com/patent/RU178644U1/ru> (дата обращения: 02.11. 2018).
7. Бышов Н.В., Белов М.И., Славкин В.И. Применение мальтийского механизма в приводе почвенной фрезы и компьютерная модель движения ножей // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 3. С. 68-72.
8. Белов М.И., Сорокин С.В. Теория механизмов и машин. М.: ИНФРА-М, 2018. 322 с.
9. Нуралин Б.Н., Константинов М.М. Удельные энергозатраты на фрезерование верхнего слоя почвы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 4(28). С. 65-69.

**Критерии авторства**

Белов М.И. провел обобщение и написал рукопись. Белов М.И. имеет на статью авторские права и несет ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 09.01.2019

**References**

1. Bosoy E.S., Vernyayev O.V., Smirnov I.I. et al. Teoriya konstruktsiya i rasshchyot selskokhozyaistvennykh mashin [Theory, design, and calculation of agricultural machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1978: 561. (In Rus).
2. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i rasshchyot pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1977: 328. (In Rus).
3. Celik A., Altikat S. 2008. Geometrical analysis of the effects of rotary tiller blade path on the distribution of soil slice size. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 24(4): 409-413. (In English)
4. Celik A., I. Ozturk and T.R. Way. A Theoretical Approach for Determining the Irregularity of Soil Tillage Depth Caused by Horizontal Axis Rotary Tillers. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 08003. Vol. X. October, 2008. (In English)
5. Hendrick, J.G. and W.R. Gill. 1978. Rotary-tiller design parameters: Part V. Kinematics. Transactions of the ASAE21(4): 658-664. (In English)
6. Belov M.I., Sorokin S.V. Freza pochvennaya [Rotary tiller]. Patent na poleznuyu model' RU178644U1. 2018. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU178644U1/ru> (accessed on 02 November 2018) (In Rus).
7. Byshov N.V., Belov M.I., Slavkin V.I. Primeniye mal'tiyskogo mekhanizma v privode pochvennoy frezy i kompyuternaya model' dvizheniya nozhey [Computer model of the movement of rotary tiller knives equipped with the Maltese mechanism in the drive]. *Vestnik Ryazanskogo GAU im. P.A. Kostycheva*, 2018; 3 (39): 68-72. (In Rus.)
8. Belov M.I., Sorokin S.V. Teoriya mekhanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines]. 2018. Moscow, INFRA-M, 322 p. (In Rus).
9. Nuralin B.N., Konstantinov M.M. Udelnyye energozatraty na frezerovaniye verkhnego sloya pochvy [Specific energy requirements for the cultivation of an upper soil layer by a rotary tiller]. *Izvestiya OGAU*, 2010; 28-1: 65-69. (In Rus).

**Contribution**

Belov M.I. summarized the material and wrote the manuscript. Belov M.I. has author' rights and bear responsibility for plagiarism.

**Conflict of interests**

The author declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on January 9, 2019