

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.312.34

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-41-45

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЬТИЙСКОГО МЕХАНИЗМА
В ПРИВОДЕ ФРЕЗЫ КУЛЬТИВАТОРА**БЕЛОВ МИХАИЛ ИВАНОВИЧ**[✉], *д-р техн. наук, профессор*B-Mikhael@yandex.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-9907-8825>**МЕЛЬНИКОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ**, *ст. преподаватель*ommelnikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>

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

Аннотация. В статье в качестве объекта исследования выступила модель культиватора фрезерного типа КФГ-3,6 с мальтийским механизмом в приводе фрезы с горизонтальной осью вращения. Мальтийский механизм внешнего зацепления непрерывного вращения позволяет снизить скорость ножа в момент входа в почву, уменьшая эрозию почвы при ее обработке в засушливых районах. Целью исследования является обоснование рационального числа пальцев водила, пазов креста и ножей на одной стороне фланца, обеспечивающего заданное качество обработки почвы. Установлено, что вариант мальтийского механизма, содержащего водило с тремя пальцами и крест с шестью пазами, является более предпочтительным по сравнению с другими вариантами.

Ключевые слова: почвенная фреза, L-образный нож, мальтийский механизм, качество обработки почвы.

Формат цитирования: Белов М.И., Мельников О.М. Оценка эффективности мальтийского механизма в приводе фрезы культиватора // *Агроинженерия*. 2021. № 1 (101). С. 41-45. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-41-45.

© Белов М.И., Мельников О.М., 2021



ORIGINAL PAPER

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE MALTESE MECHANISM
IN THE DRIVE OF A ROTARY TILLER**MIKHAIL I. BELOV**[✉], *DSc (Eng), Professor*B-Mikhael@yandex.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-9907-8825>**OLEG M. MELNIKOV**, *Senior Lecturer*ommelnikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>

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

Abstract. The study focuses on a model of the KFG-3.6 rotary tiller with the Maltese-cross mechanism in the horizontal-axis rotary tiller drive. The continuous-rotation Maltese mechanism of external hooking allows reducing the knife speed when the knife penetrates into the soil. This kind of tillage minimizes erosion of the soil in dry areas. The study purpose is to determine the rational number of fingers, cross-wheel slots and knives on one side of the flange, providing a predetermined quality of soil tillage. It has been established that the Maltese-cross mechanism including a three-finger carrier gear and a cross with six slots is preferable among all the existing options.

Key words: rotary tiller, L-shaped knife, Maltese-cross mechanism, soil tillage quality.

For citation: Belov M.I., Melnikov O.M. Evaluation of the effectiveness of the Maltese mechanism in the drive of a rotary tiller // *Agricultural Engineering*, 2021; 1 (101): 41-45. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-41-45.

Введение. Почвенная фреза позволяет улучшить структуру пахотного слоя за счет образования комков заданных размеров. В многочисленных исследованиях почвенной фрезы с горизонтальной осью вращения значительное внимание уделяется вопросам изучения геометрических и кинематических параметров ножа [1-5]. Эффективность почвенной

фрезы снижается при обработке переувлажненных суглинков или почвы с затвердевшей верхней коркой в засушливых районах. В первом случае отбрасываемые ножами фрезы комки налипают на задний щиток корпуса фрезы и не разрушаются, во втором случае удары ножа, разбивая корку почвы, приводят к образованию пыли и эрозии плодородного верхнего слоя.

Для снижения скорости ножа в момент входа в почву в приводе фрезы может быть установлен мальтийский механизм внешнего зацепления непрерывного вращения. Вопрос оценки качества обработки почвы фрезой с мальтийским механизмом в приводе рассматривается в том случае, когда водило имеет шесть пальцев, а крест – три паза [6, 7]. Представляет интерес сравнительная оценка эффективности фрезы, когда водило имеет разное число пальцев.

Цель исследования: обоснование рационального числа пальцев водила и пазов креста мальтийского механизма и числа ножей на одной стороне фланца, обеспечивающего заданное качество обработки почвы.

Материалы и методы. Объект исследования – модель культиватора фрезерного типа КФГ-3,6 с мальтийским механизмом внешнего зацепления в приводе фрезы с горизонтальной осью вращения (рис. 1).

Компьютерная модель движения водила, креста и ножей ротора, позволяющая оценивать качество обработки почвы, разработана в среде «Lazarus» (Lazarus, 2018).

Модель почвенной фрезы содержит два ротора, горизонтальные валы которых расположены параллельно и соединены с валами двух крестов зубчатыми колесами (рис. 2).

Синхронное вращение двух крестов обеспечивается одним водилом, которое приводится во вращение от двигателя. Три ножа ротора в одной плоскости вращения установлены так, что в момент входа в почву ножей одного ротора угловая скорость другого ротора является наибольшей, и его ножи на окружности находятся в нижнем положении. Таким образом, в момент сопротивления со стороны пласта движению одного ротора при входе его ножей в почву другой ротор обеспечивает движущую силу. Симметричное расположение

ножей относительно середины вала исключает возникновение пар сил, действующих на вал ротора в горизонтальной плоскости. Водило содержит три, четыре или шесть пальцев, а крест – соответственно шесть, четыре или три паза.

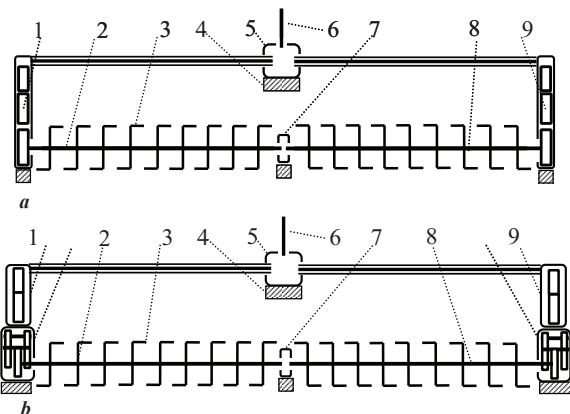


Рис. 1. Культиватор фрезерного типа КФГ-3,6 (а) и модель культиватора с мальтийским механизмом в приводе (б):

- 1, 9 – боковые редукторы; 2, 8 – роторы с ножами;
- 5 – центральный редуктор; 4 – рама; 5 – входной редуктор;
- 6 – вход ВОМ; 7 – центральная опора;
- 10, 11 – мальтийский механизм в приводе роторов

Fig. 1. KFG-3.6 rotary tiller (a) and a rotary tiller model with a Maltese-cross gear drive (b):

- 1, 9 – side gearboxes; 2, 8 – rotors with knives;
- 5 – central reduction gear; 4 – frame; 5 – input gearbox;
- 6 – PTO input; 7 – central support;
- 10, 11 – Maltese-cross mechanism in the rotor drive

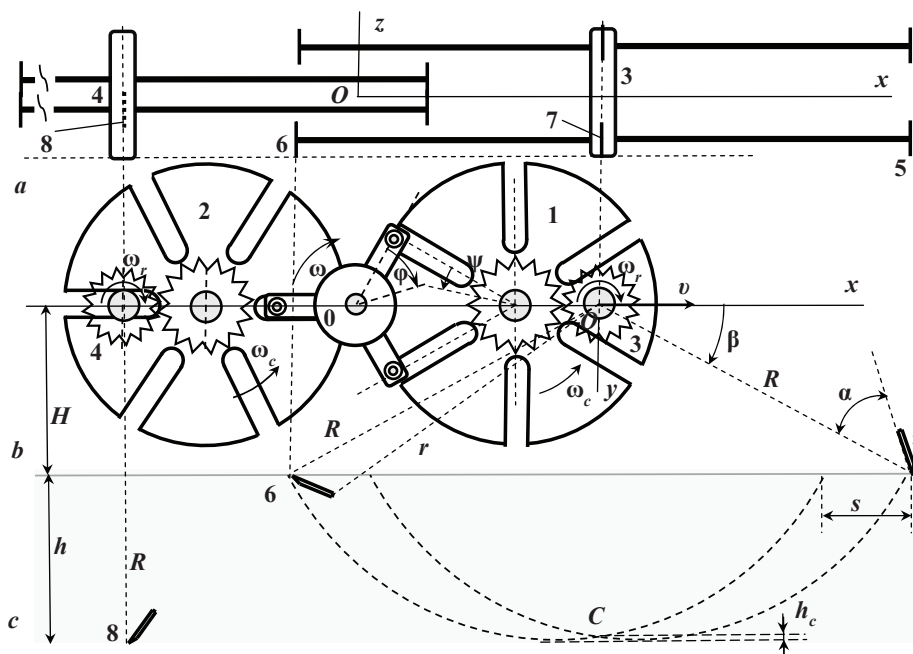


Рис. 2. Модель привода при виде сверху (а), сбоку (б) и траектории концов ножей в почве (с):

- 0 – водило с тремя пальцами; 1, 2 – передний и задний кресты с зубчатыми колесами на валах крестов;
- 3, 4 – валы переднего и заднего роторов с зубчатыми колесами на валах; 5, 6, 7 – ножи переднего ротора;
- 8 – нож заднего ротора в нижнем положении в момент входа ножа 5 в почву

Fig. 2. Drive model in top view (a), side view (b) and the trajectory of the knife ends in the soil (c):

- 0 – carrier gear with three fingers; 1, 2 – front and rear crosses with toothed wheels on the shafts of the crosses;
- 3, 4 – shafts of the front and rear rotors with gear wheels on the shafts; 5, 6, 7 – front rotor knives;
- 8 – the rear rotor knife in the lower position at the moment of knife 5 penetrating the soil

Результаты и обсуждение

1. Уравнения связи между параметрами мальтийского механизма, ротора и ножа

Введем следующие обозначения (рис. 2): $Oxyz$ – неподвижная ортогональная система декартовых координат с горизонтальной осью Ox , вертикальной осью Oy , направленной вниз, и перпендикулярной им осью Oz , параллельной осям роторов; K – число ножей в плоскости вращения; N – число пальцев водила; M – число пазов креста; u – передаточное отношение зубчатых колес на валах креста и ротора; h_c – высота гребня, м; R – расстояние от оси ротора до лезвия ножа, м; s – подача (на нож), м; x, y – координаты точек траектории точки лезвия ножа 5, м; φ, ψ, γ – угол поворота водила, креста и ротора соответственно после входа пальца в паз креста и ножа в почву, рад; β – радиальный угол входа ножа в почву, рад; α – угол установки ножа, рад; ω – угловая скорость водила, рад/с; ω_r – наибольшая угловая скорость ротора, рад/с; v – скорость точки рамы фрезы (оси ротора), направленная по оси Ox , м/с.

По определению, отношение угла ($2\pi/M$) поворота креста и угла ($2\pi/K$) поворота ротора за время движения пальца водила в паз креста равно передаточному отношению u , то есть

$$K = M u. \tag{1}$$

Безударный вход пальца водила в радиальный паз креста и вращение креста без пауз обеспечиваются при выполнении равенства

$$\pi/N + \pi/M = \pi/2. \tag{2}$$

Равенство (2) доказывает, что возможны только следующие три варианта. Первый вариант: $N = 3, M = 6, K = 3$; второй: $N = 6, M = 3, K = 3$; третий: $N = 4, M = 4, K = 4$. Учитывая соотношение между углами поворота водила и креста $u = \psi/\gamma$, запишем выражение для угла поворота ротора [8]:

$$\gamma u = \pi/M - \arctg \{ \sin(\pi/N - \varphi) / [1/\cos(\pi/N) - \cos(\pi/N - \varphi)] \}, \tag{3}$$

где $0 \leq \varphi \leq 2\pi/N$.

По определению,

$$\beta = \pi/2 - \pi/K. \tag{4}$$

Время между входами ножей в почву равно времени движения пальца водила в паз креста. Отсюда

$$s = 2 v \pi / (N \omega). \tag{5}$$

Отметим, что угловая скорость ротора изменяется от нуля до максимального значения ω_r , формулу для которого [7, 8] запишем как

$$\omega_r = (\omega/u) / [1/\cos(\pi/N) - 1]$$

или, с учетом равенства (5),

$$\omega_r = 2 v \pi / \{ N s u [1/\cos(\pi/N) - 1] \}. \tag{6}$$

Представим уравнения траектории точки лезвия ножа 5 в параметрическом виде:

$$\begin{cases} x = \frac{\varphi s N}{2\pi} + R \cos(\gamma + \beta) \\ y = R \sin(\gamma + \beta), \end{cases} \tag{7}$$

где $0 \leq \varphi \leq 2\pi/N$.

Координату x_c точки C пересечения ближайших траекторий точек лезвий ножей 5, 6 в почве при заданном выборе начала координат можно определить из уравнений (7) (рис. 2):

$$x_c = 0. \tag{8}$$

Уравнения (7) можно использовать для фрезы без мальтийского механизма, обеспечивающей ту же подачу при заданной скорости рамы фрезы, если принять

$$\gamma = \varphi N / K.$$

2. Алгоритм расчета высоты гребня, числа пазов креста и максимальной угловой скорости ротора

1. Назначение входных переменных K, N, R, v, s (табл.).
2. Расчет M из уравнения (2).
3. Расчет u из уравнения (1).
4. Расчет β по формуле (4).
5. Расчет координаты x_c точки C по формуле (8).
6. Расчет ординаты y_c точки C ($y_c = y$) из уравнений (7) при известной координате x ($x = x_c$) и использовании формулы (3).
7. Расчет h_c по формуле $h_c = R - y_c$.
8. Расчет ω_r по формуле (6).
9. Расчет угловой скорости ротора без мальтийского механизма ω из равенства (5) при $N = K$.

Таблица

Исходные данные

Table

Initial data

Число ножей <i>Number of knives</i> K	Число пальцев водила <i>Number of carrier fingers</i> N	Расстояние от оси ротора до лезвия ножа, м <i>Distance from the rotor axis to the knife blade, m</i> R	Скорость точки рамы фрезы, м/с <i>Point velocity of the cutter frame, m/s</i> v	Подача (на нож), м <i>Feed rate (for knife), m</i> s
3; 4	3; 4; 6	0,18	1,0	0,03...0,12

При входе ножа в почву скорость точки лезвия направлена по ходу движения фрезы (рис. 3). Во избежание упора спинки ножа в почву в момент входа угол α установки ножа должен отвечать условию $\alpha \leq \pi/2 - \beta$. В вариантах 1, 2, 3

угол β равен соответственно $\pi/6, \pi/6, \pi/4$. Допустимы уменьшение угла входа и увеличение угла установки. При этом глубина рыхления уменьшится, и в момент входа ножа в почву угловая скорость ротора будет отличной от нуля.

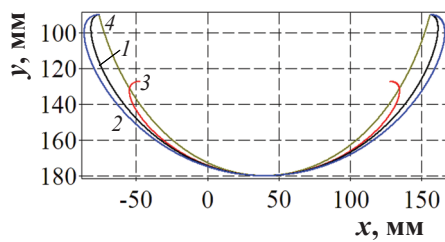


Рис. 3. Траектории точки лезвия ножа в почве:

— вариант 1; — вариант 2; — вариант 3;
— вариант 4 – привод без мальтийского механизма

Fig. 3. Trajectories of the knife blade point in the soil:

— option 1; — option 2; — option 3;
— option 4 – drive without the Maltese-cross mechanism

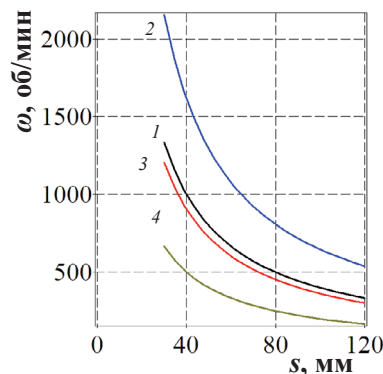
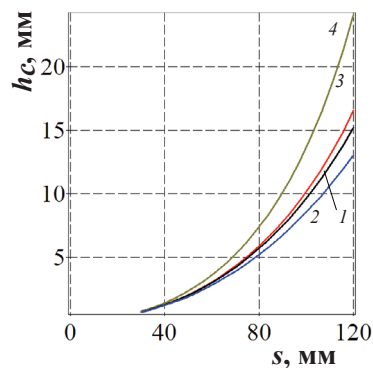


Рис. 4. Графики зависимости от подачи высоты гребня борозды h_c (слева) и максимальной угловой скорости ротора ω (справа):

— вариант 1; — вариант 2; — вариант 3; — вариант 4 – привод без мальтийского механизма

Fig. 4. Graphs of the relationship between the feed height of the furrow ridge h_c (left) and the maximum angular speed of the rotor ω (right):

— option 1; — option 2; — option 3; — option 4 – drive without the Maltese-cross mechanism

Выводы

1. Вариант привода фрезы культиватора фрезерного с мальтийским механизмом, содержащим водило с тремя пальцами и крест с шестью пазами, является более предпочтительным по сравнению с вариантами, в которых

водило содержит шесть или четыре пальца, а крест – соответственно три и четыре паза.

2. Установка мальтийского механизма в приводе фрезы культиватора фрезерного позволяет уменьшить высоту гребня борозды примерно в 1,5 раза при двукратном увеличении максимальной угловой скорости ротора.

Библиографический список

1. Beeny J.M.& Khoo D.C. 1970. Preliminary investigations into the performance of different shaped blades for the rotary tillage of wet rice soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 15(1), 27-33.
2. Hendrick J.G. and W.R. Gill. 1978. Rotary-tiller design parameters: Part V. Kinematics. *Transactions of the ASAE* 21(4): 658-664.
3. Celik A., S. Altikat. 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.
4. Рамазанова Г.Г., Белов М.И., Гаджиев П.И. Обоснование профиля рабочей поверхности ножа фрезы для обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2016. № 2. С. 32-37.
5. Belov M. 2018. Kinematics of twin rotary tiller. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(4): 91-96.

References

1. Beeny J.M., Khoo D.C. Preliminary investigations into the performance of different shaped blades for the rotary tillage of wet rice soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1970; 15(1): 27-33.
2. Hendrick J.G., W.R. Gill. Rotary-tiller design parameters: Part V. Kinematics. *Transactions of the ASAE*, 1978; 21(4): 658-664.
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.
4. Ramazanova G.G., Belov M.I., Khadzhiev P.I. Obosnovanie profilya rabochey poverkhnosti nozha frezy dlya obrabotki pochvy [Theoretical grounds for the operating surface profile of a rotary tiller knife]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2016; 2: 32-37. (In Rus.)
5. Belov M. Kinematics of twin rotary tiller. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2018; 20(4): 91-96.

6. Бышов Н.В., Белов М.И., Славкин В.И. Применение мальтийского механизма в приводе почвенной фрезы и компьютерная модель движения ножей // Вестник Рязанского ГАУ им. П.А. Костычева. 2018. № 3. С. 68-72.

7. 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. № 2 (90). С. 4-7.

8. Белов М.И., Сорокин С.В. Теория механизмов и машин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2018. 322 с.

Критерии авторства

Белов М.И., Мельников О.М. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Белов М.И., Мельников О.М. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.11.2020 г.

Одобрена после рецензирования 02.12.2020 г.

Принята к публикации 15.01.2021 г.

6. Byshov N.V., Belov M.I., Slavkin V.I. Primenenie mal'tiyskogo mekhanizma v privode pochvennoy frezy i kompyuternaya model' dvizheniya nozhey [Computer model of the movement of knives of rotary tiller with Maltese-cross mechanism in the drive]. *Vestnik Ryazanskogo GAU im. P.A. Kostycheva*, 2018; 3: 68-72. (In Rus.)

7. Belov M. Vysota grebnya i dlina dugi rezaniya pochvennoy frezy s mal'tiyskim mekhanizmom v privode [Ridge height and the length of a soil cutting curve formed by a rotary tiller with the Maltese-cross mechanism in the drive]. 2nd ed., reviewed and extended. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agro-engineering University*, 2019; 2 (90): 4-7. (In Rus.)

8. Belov M.I., Sorokin S.V. Teoriya mekhanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, INFRA-M, 2018: 322. (In Rus.)

Contribution

M.I. Belov, O.M. Melnikov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. M.I. Belov, O.M. Melnikov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

The paper was received 17.11.2020

Approved after reviewing 02.12.2020

Accepted for publication 15.01.2021

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.017

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-45-52

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПОПЕРЕЧНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАШИН С БАЛАНСИРНОЙ ПОДВЕСКОЙ МОСТА УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС

ЩИГОЛЕВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ✉, канд. техн. наук, ст. преподаватель
sergeysch127@mail.ru ✉

ЛОМАКИН СЕРГЕЙ ГЕРАСИМОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

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

Аннотация. Критерием устойчивости самоходных сельскохозяйственных машин считают величину угла поперечной статической устойчивости. Проведён анализ методик определения величины угла поперечной статической устойчивости колёсных самоходных машин, используемых при проведении государственных испытаний. Выявлено значительное отклонение результатов определения указанного угла при использовании экспериментальной и аналитической методик. На основании их анализа определено, что такое расхождение результатов можно объяснить значительным упрощением расчётной схемы, применённой в экспериментально-аналитической методике, и не принимаемой во внимание в ней деформацией шин. Предложена методика определения угла поперечной статической устойчивости для колёсных машин, оборудованных балансирной подвеской моста управляемых колёс, указаны дополнительные измерения и представлены расчётные зависимости для учёта влияния на величину искомого угла не только подвески, но и деформации шин. Для определения угла поперечной статической устойчивости машины с учетом влияния балансирной подвески моста управляемых колёс и деформации шин авторами предложено использовать графический метод, который снижает трудоёмкость и повышает информативность анализа, показывая значимость каждого фактора, влияющего на величину угла. Показана целесообразность применения предлагаемой методики, позволяющей значительно снизить величину отклонения расчётных и опытных значений угла поперечной статической устойчивости.