

УДК 631.313.72

UDC 631.313.72

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НОЖА ПОЧВОФРЕЗЫ**INVESTIGATION OF THE GEOMETRIC SHAPE OF THE SOIL MILLING KNIFE**

Матущенко Алексей Евгеньевич
старший преподаватель
archangel24@mail.ru

Matushchenko Alexey Evgenievich
senior lecturer
archangel24@mail.ru

Жигайлов Федор Юрьевич
студент
3fedor_zhigaylov_sr_3@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина»,
Краснодар, Россия

Zhigailov Fedor Yurievich
student
3fedor_zhigaylov_sr_3@mail.ru
FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named
after I.T. Trubilin», Krasnodar, Russia

Наиболее распространенным рабочим органом фрезы является изогнутый Г – образный нож. Чтобы уменьшить усилие, действующее на нож, и обеспечить его самоочистку от растительных остатков, лезвие предлагается выполнять по логарифмической спирали, учитывающей параметры фрезы и процесса фрезерования. Данная работа посвящена получению уравнений, позволяющих определить форму лезвия ножа почвофрезы с учетом свойств почвы

The most common working body of the milling cutter is a curved G – shaped knife. In order to reduce the force acting on the knife and ensure its self-cleaning from plant residues, the blade is proposed to be carried out in a logarithmic spiral, taking into account the parameters of the milling cutter and the milling process. This work is devoted to obtaining equations that allow determining the shape of the blade of a soil milling knife, taking into account the properties of the soil

Ключевые слова: ЛЕЗВИЕ, НОЖ, ПОЧВА, СПИРАЛЬ, ФРЕЗА

Keywords: BLADE, KNIFE, SOIL, SPIRAL, MILLING CUTTER

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-184-013>

В плоскости вращения лезвие Г – образного ножа описывает поверхность вращения. Если Oz – ось вращения ножа, то лезвие стойки ножа опишет круг радиуса $\rho_K^C = OK$ (рис. 1), а участок изгиба – криволинейную поверхность, которую в сечении, проходящем через ось вращения, можно представить линией KE . В целом поверхность вращения будет представлять «блюдец», из которого можно было бы вырезать ножи, если бы на внутренней поверхности было обозначено лезвие. Нанести траекторию лезвия на поверхность можно, если известно уравнение этой траектории.

Уравнение линии лезвия стойки представлено в работе [5] и по нему вычерчивается линия на «дне блюда». Чтобы начертить линию

<http://ej.kubagro.ru/2022/10/pdf/13.pdf>

лезвия полки, которая в этом случае будет проходить по криволинейной поверхности, нужно иметь как уравнение этой поверхности, так и уравнение линии лезвия, вычерченной по этой поверхности.

Для того, чтобы обеспечить движение почвы по полке ножа и в то же время изогнуть полку с минимальным радиусом кривизны, нужно, чтобы в сечении поверхность вращения представляла собой логарифмическую спираль.

Уравнение линии лезвия ножа можно представить траекторией движения частицы почвы по этой вращающейся поверхности. Причем траектория должна быть такой, чтобы в плоскости, касательной к поверхности вращения и лезвию, угол, проведенный между касательной к лезвию и направлением относительного перемещения частицы по лезвию, был бы равен или меньше угла трения частицы почвы о лезвие.

Из рис. 1 видно, что плавное сопряжение поверхности вращения с плоскостью вращения будет обеспечено, если

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \varphi_{mp}, \quad (1)$$

где φ_0 - начальный угол, определяющий величину стойки ножа;

φ_{mp} – угол трения почвы о металл.

Форма кривой KE определится уравнением:

$$\rho = \rho_0^{\Pi} l^{\varphi \operatorname{ctg} \varphi_{mp}}, \quad (2)$$

где ρ_0^{Π} – начальное значение радиуса – вектора логарифмической спирали, образующей полку;

φ – текущее значение полярного угла.

Величину ρ_0^{Π} можно найти по конечному значению радиуса – вектора стойки ножа

$$\rho_0^{\Pi} = \frac{\rho_K^C}{\sin \varphi_0} = \frac{\rho_K^C}{\sin \varphi_{mp}}, \quad (3)$$

где ρ_K^C - конечное значение радиуса – вектора лезвия стойки ножа, определяемое в плоскости XOY на основании данных работы [5].

Итак, кривая KE определит форму участка перехода стойки ножа в полку и форму самой полки, если она проектируется изогнутой.

Вращая кривую KE вокруг оси Oz , получим поверхность вращения «блюдце». На дне этого «блюдца» можно вычертить лезвие стойки ножа по формулам, полученным в работе [5].

Лезвие полки ножа должно быть в этом случае вычерчено на внутренней боковой поверхности «блюдца». Поскольку форма линии лезвия должна обеспечить самоочистку ножа от растительных остатков и осуществлять отрезание почвенной стружки со скольжением, то она должна быть задана уравнением, которое учитывало бы указанные требования.

Дальнейшее решение поставленной задачи может быть осуществлено несколькими способами. Остановимся на одном из них. Если на внутреннюю поверхность положить почвенную частицу, то при вращении поверхности частица опишет какую – то траекторию. Эта траектория будет определяться коэффициентом трения частицы о поверхность и режимом вращения. Однако теоретически траекторию можно сделать такой, чтобы угол между касательной к траектории и радиусом – вектором был постоянным и равным углу трения почвы или растительных остатков о металл. Из рис. 1 имеем:

$$\omega t = \theta_1 + \theta, \quad (4)$$

где ωt - угол поворота поверхности вращения;

θ – относительное угловое перемещение частицы по поверхности;

θ_1 - абсолютное угловое перемещение частицы.

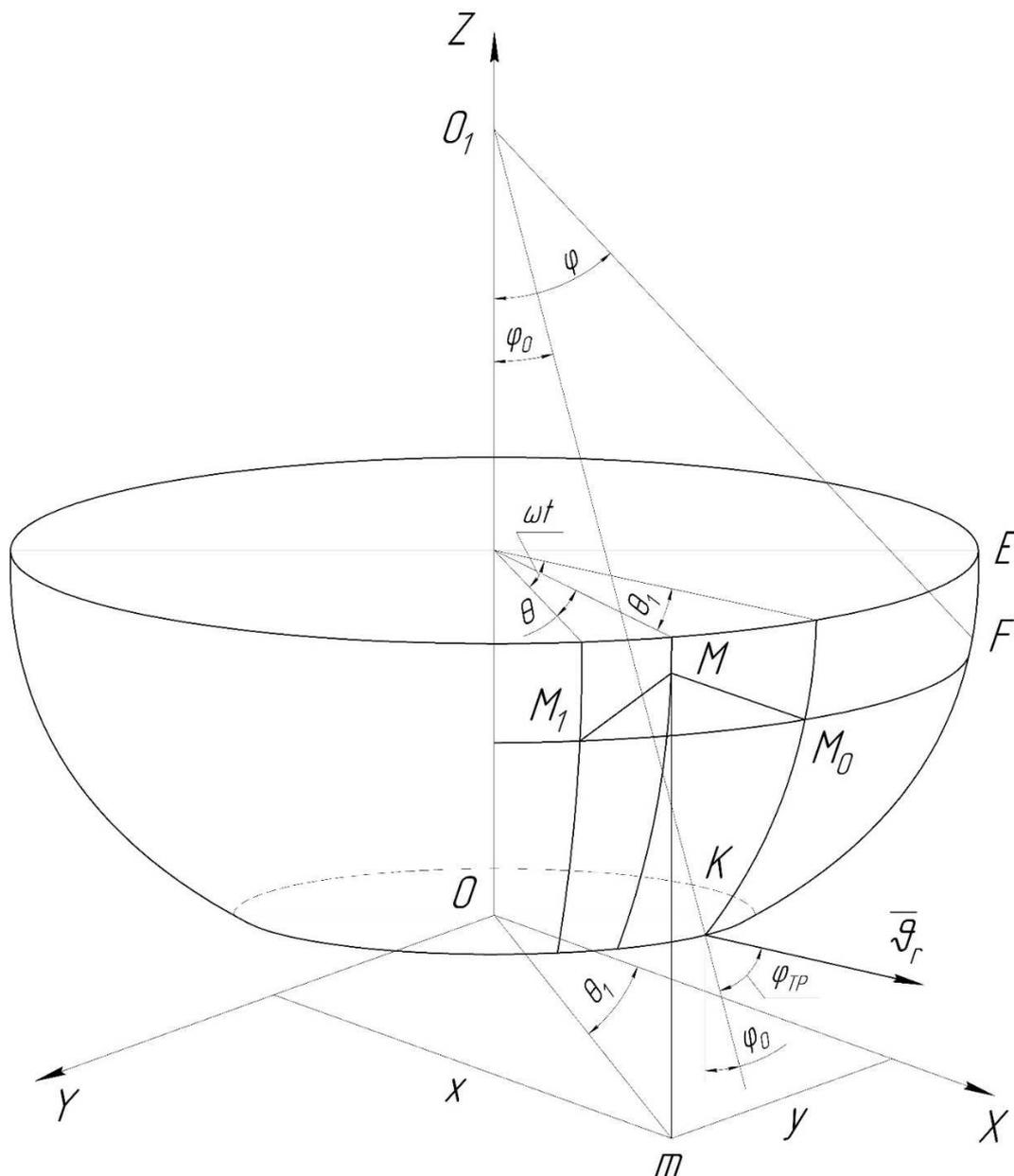


Рисунок 1 – Траектория движения ножа почвофрезы

Считая, что система координат xuz связана с вращением поверхности, запишем координаты частицы в относительном перемещении

$$\begin{aligned}
 x &= (\rho_K^C + Dm) \cos \theta \\
 y &= (\rho_K^C + Dm) \sin \theta \\
 z &= r_0 \cos \varphi_0 - r \cos \varphi,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где $r_0 = \rho_0^П$; $D \cdot m = r \sin \varphi - \rho_K^C$; (6)

r и φ – текущие значения параметров кривой KE .

Подставляя необходимые данные в уравнение (5), имеем:

$$\begin{aligned} x &= r \sin \varphi \cdot \cos \theta \\ y &= r \sin \varphi \cdot \sin \theta \\ z &= r_0 \cos \varphi_0 - r \cos \varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Относительная скорость движения частицы по поверхности определится уравнением:

$$g_r^2 = \dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 \sin^2 \varphi. \quad (8)$$

Рассматриваемая частица движется с переменным ускорением, поэтому для определения ее траектории лучше воспользоваться методом обобщенных координат. В качестве обобщенных координат возьмем величины r , φ и θ . Уравнение живых сил в этом случае будет иметь вид:

$$T = \frac{m g_0^2}{2} = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 \sin^2 \varphi). \quad (9)$$

Уравнения Лагранжа второго рода, описывающие движение частицы, запишутся так:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{r}} + \frac{\partial T}{\partial r} &= Q_r \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} + \frac{\partial T}{\partial \theta} &= Q_\theta \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} + \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_\varphi. \end{aligned} \quad (10)$$

Дифференцируя уравнение (9), подставляя данные уравнения (10) и преобразовывая их, будем иметь:

$$\begin{aligned} m \ddot{r} + m r \dot{\varphi}^2 + m r \dot{\theta}^2 \sin^2 \varphi &= Q_r \\ m [2 r r \dot{\theta} \sin \varphi + r^2 \ddot{\theta} \sin^2 \varphi + 2 r^2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \sin \varphi \cos \varphi] &= Q_\theta \\ m [2 r \dot{\varphi} \dot{r} + r^2 \ddot{\varphi} + r^2 \dot{\varphi} \dot{\theta}^2 \sin \varphi \cos \varphi] &= Q_\varphi, \end{aligned} \quad (11)$$

где Q_r , Q_θ , Q_φ - обобщенные силы.

Движение лезвия относительно почвы или почвы относительно лезвия зависит в основном от силы трения. Сила трения, действующая на частицу при ее движении по вращающейся поверхности, и определит обобщенные силы, входящие в уравнения (11).

Сила трения направлена по вектору относительной скорости (\mathcal{Q}_r) частицы в сторону, противоположную этой скорости. Вектор относительной скорости лежит в плоскости ($L - L$), касательной к поверхности вращения. На рис. 2а фронтальная проекция этой плоскости представлена линией ($L - L$).

Для определения обобщенных сил составим выражения элементарных работ приложенных сил в направлении возможных элементарных перемещений. Элементарная работа будет равна произведению элементарного изменения обобщенной координаты на силу, вызывающую это перемещение.

Сила, вызывающая элементарное угловое перемещение θ , будет перпендикулярна радиусу O_3M (рис. 2а) и по величине равна $F_{mp} \sin \varphi_{mp}$ (рис. 2б).

Сила, вызывающая элементарное угловое перемещение φ , будет перпендикулярна радиусу O_1M . Из рис. 2 (а и б) видно, что величина этой силы равна $F_{mp} \cos \varphi_{mp} \sin \varphi_{mp}$. И, наконец, сила, вызывающая элементарное перемещение частицы вдоль радиуса – вектора OM , будет равна $F_{mp} \cos^2 \varphi_{mp}$.

Приравнивая выражения элементарных работ обобщенных сил и сил трения, получим:

$$\begin{aligned} Q_\theta \cdot \delta\theta &= F_{mp} \delta\theta \cdot \sin \varphi_{mp} \\ Q_\varphi \cdot \delta\varphi &= F_{mp} \delta\varphi \cdot \cos \varphi_{mp} \cdot \sin \varphi_{mp} \\ Q_r \cdot \delta r &= - F_{mp} \cdot \delta r \cdot \cos^2 \varphi_{mp} \end{aligned} \quad (12)$$

Сила трения, входящая в эти уравнения, определится нормальной реакцией поверхности на частицу и коэффициентом трения.

$$F_{mp} = \varphi_{mp} \cdot N. \quad (13)$$

Допуская, что нормальное давление на поверхность создается в основном силой инерции частицы массой m , имеем:

$$F_{ин} = m\omega^2 r \sin \varphi. \quad (14)$$

Проектируя силу инерции на нормаль к поверхности, найдем (рис. 2а):

$$N = m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\pi - \varphi_{mp} - \varphi) \quad (15)$$

или

$$N = - m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi). \quad (16)$$

Тогда

$$F_{mp} = - \varphi_{mp} \cdot m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi). \quad (17)$$

Обобщенные силы окончательно определяются так:

$$\left. \begin{aligned} Q_\theta &= - \varphi_{mp} m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi) \sin \varphi_{mp} \\ Q_\varphi &= - \varphi_{mp} m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi) \cos \varphi_{mp} \sin \varphi_{mp} \\ Q_r &= \varphi_{mp} m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi) \cos^2 \varphi_{mp}. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Окончательно заданная траектория движения частицы по внутренней вращающейся криволинейной поверхности определится системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} 2r\dot{r}\dot{\theta} \sin \varphi + r^2\ddot{\theta} \sin^2 \varphi + 2r^2\dot{\theta}\dot{\varphi} \sin \varphi \cos \varphi &= \varphi_{mp} m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi) \sin \varphi_{mp} \\ 2r\dot{\varphi}\dot{r} + r^2\ddot{\varphi} + r^2\dot{\varphi}\dot{\theta}^2 \sin \varphi \cos \varphi &= \varphi_{mp} m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi) \cos \varphi_{mp} \sin \varphi_{mp} \\ \ddot{r} + r\dot{\varphi}^2 + r\dot{\theta}^2 \sin^2 \varphi &= \varphi_{mp} m\omega^2 r \sin \varphi \cos (\varphi_{mp} + \varphi) \cos^2 \varphi_{mp} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

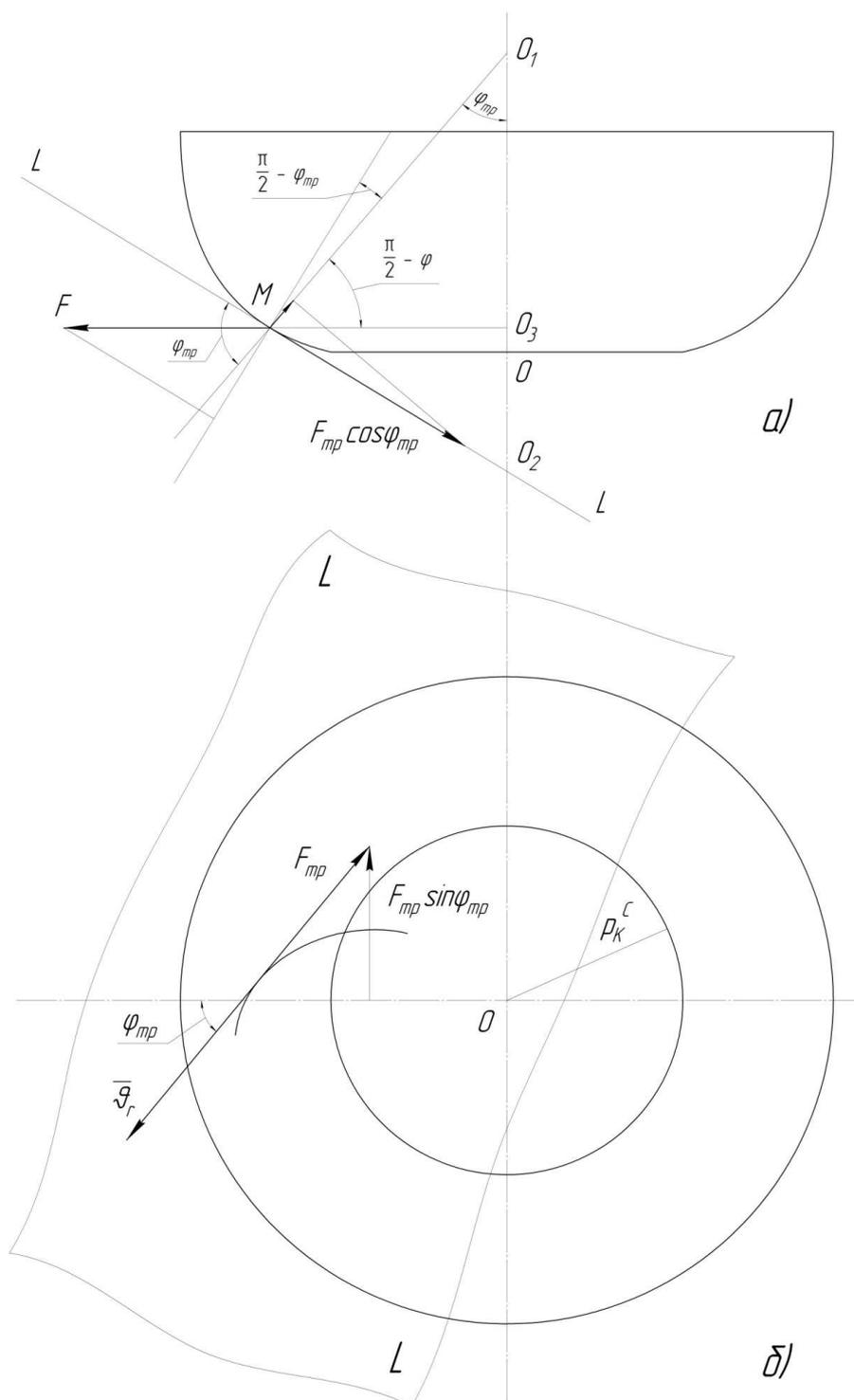


Рисунок 2 – Силы, действующие на частицу почвы при движении относительно лезвия ножа

Полученные уравнения позволяют определить форму лезвия ножа почвофрезы с учетом свойств почвы. Они могут быть решены одним из методов приближенного интегрирования и использованы при проектировании ножей почвофрез.

Список литературы

1. Блохин, В. Н. Рабочий орган фрезы / В. Н. Блохин, В. В. Никитин, Н. В. Синяя // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4(56). – С. 64-68.
2. Авторское свидетельство № 1762770 А1 СССР, МПК А01В 33/06. Почвофреза с вертикальной осью вращения : № 4863809 : заявл. 02.07.1990 : опубл. 23.09.1992 / А. В. Лаврухин, В. Ф. Клейн ; заявитель НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "НЕЧЕРНОЗЕМАГРОМАШ".
3. Авторское свидетельство № 1130178 А1 СССР, МПК А01В 33/10. Нож почвофрезы : № 3473477 : заявл. 04.05.1982 : опубл. 23.12.1984 / С. М. Сидоренко, А. Я. Логвиненко ; заявитель КУБАНСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ.
4. Безин, А. С. Исследование молотильного устройства с зубьями, имеющими форму логарифмической спирали, и регулируемым рабочим углом / А. С. Безин // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства : Сборник научных трудов/ ВНИИМЭСХ. – Ростов-на-Дону : Ростовский университет, 1968. – С. 99-112.
5. Построение развёртки Г-образного ножа ротационного культиватора / В. В. Драгуленко, А. Е. Матущенко, А. А. Полуэктов, М. Д. Сарксян // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(94). – С. 79-82.

References

1. Blohin, V. N. Rabochij organ frezy / V. N. Blohin, V. V. Nikitin, N. V. Sinjaja // Vestnik Brjanskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. – 2016. – № 4(56). – S. 64-68.
2. Avtorskoe svidetel'stvo № 1762770 A1 SSSR, MPK A01B 33/06. Pochvofreza s vertikal'noj os'ju vrashhenija : № 4863809 : zajavl. 02.07.1990 : opubl. 23.09.1992 / A. V. Lavruhin, V. F. Klejn ; zajavitel' NAUChNO-PROIZVODSTVENNOE OBEDINENIE "NEChERNOZEMAGROMASH".
3. Avtorskoe svidetel'stvo № 1130178 A1 SSSR, MPK A01B 33/10. Nozh pochvofrezy : № 3473477 : zajavl. 04.05.1982 : opubl. 23.12.1984 / S. M. Sidorenko, A. Ja. Logvinenko ; zajavitel' KUBANSKIJ ORDENA TRUDOVOGO KRASNOGO ZNAMENI SEL"SKOHOZJAJSTVENNYJ INSTITUT.
4. Bezin, A. S. Issledovanie molotil'nogo ustrojstva s zub'jami, imejushhimi formu logarifmicheskoj spirali, i reguliruemym rabochim uglom / A. S. Bezin // Voprosy mehanizacii i jelektrifikacii sel'skhozjajstvennogo proizvodstva : Sbornik nauchnyh trudov/ VNIIMJeSH. – Rostov-na-Donu : Rostovskij universitet, 1968. – S. 99-112.
5. Postroenie razvjortki G-obraznogo nozha rotacionnogo kul'tivatora / V. V. Dragulenko, A. E. Matushenko, A. A. Polujektov, M. D. Sarksjan // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – № 2(94). – S. 79-82.