

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

Нуриев Л.М., Яруллин Ф.Ф., Яхин С.М., Алиакберов И.И., Хусаинов Р.К.

Реферат. Для повышения качества предпосевной обработки почвы в Республике Татарстан разработано почвообрабатывающее орудие, которое, в отличие от других конструкций, содержит коаксиально установленные на горизонтальном валу винтовую спираль и игольчатые эллипсовидные диски. Винтовая спираль пассивного действия создаёт на глубине заделки семян уплотнённое семенное ложе; игольчатые эллипсовидные диски – активны и обеспечивают мульчирование поверхностного слоя почвы. Предварительный анализ процессов взаимодействия рабочего органа с почвой возможен на основе параметрических уравнений движения отдельных точек режущей кромки винтовой спирали, а также выражений для определения их скоростей и ускорений. Выбираемые в ходе расчёта и проектирования предлагаемого ротационного комбинированного орудия конструктивные параметры должны обеспечивать входение винтовой спирали в почву со скольжением. В противном случае увеличивается тяговое сопротивление агрегата. Для обоснования основных конструктивных параметров спирально-винтового рабочего органа также необходимо предварительное построение теоретических зависимостей. Согласно результатам расчетов точки режущей кромки винтовой спирали совершают при движении орудия сложное перемещение в пространстве. Составляющие скорости и ускорения этих точек – переменные параметры, что способствует активному крошению почвы и разрушению ее комков. Оптимальные конструктивные параметры рабочего органа орудия: диаметр винтовой спирали – 0,470 м; угол наклона винтовой спирали (угол подъёма винтовой линии) – $10^\circ \dots 25^\circ$; угол наклона большой стороны полосы к образующей цилиндрической поверхности, которая описывает винтовая спираль – $25^\circ \dots 30^\circ$.

Ключевые слова: предпосевная обработка почвы; спирально-винтовой рабочий орган, кинематические и конструктивные параметры.

Введение. Предпосевная обработка почвы должна обеспечивать создание уплотнённого семенного ложа на глубине заделки семян и мелкокомковатого мульчированного слоя на поверхности [1, 2, 3, 4]. Кроме того, она способствует сохранению влаги, улучшению микробиологической деятельности и обеспечивает наиболее полное очищение почвы от сорных растений [5, 6, 7, 8]. В последние годы в нашей стране ведутся активные исследования по разработке ротационных орудий для предпосевной (поверхностной) обработки почвы [9, 10, 11]. Широкое применение получили ротационные орудия со спирально-винтовыми рабочими органами [12, 13, 14, 15]. Их конструкция позволяет обеспечить

угол наклона рабочего органа к вертикали и угол установки его к линии поступательного движения (угла атаки), что способствует более качественному крошению почвы [16, 17, 18].

Цель исследования – определение параметрических уравнений движения спирально-винтового рабочего органа почвообрабатывающей машины в пространстве, а также обоснование его оптимальных конструктивно-технологических параметров.

Условия, материалы и методы. Разработанное ротационное почвообрабатывающее орудие, в отличие от других конструкций, содержит коаксиально установленные на горизонтальном валу винтовую спираль и игольчатые эллипсовидные диски (рисунок 1).

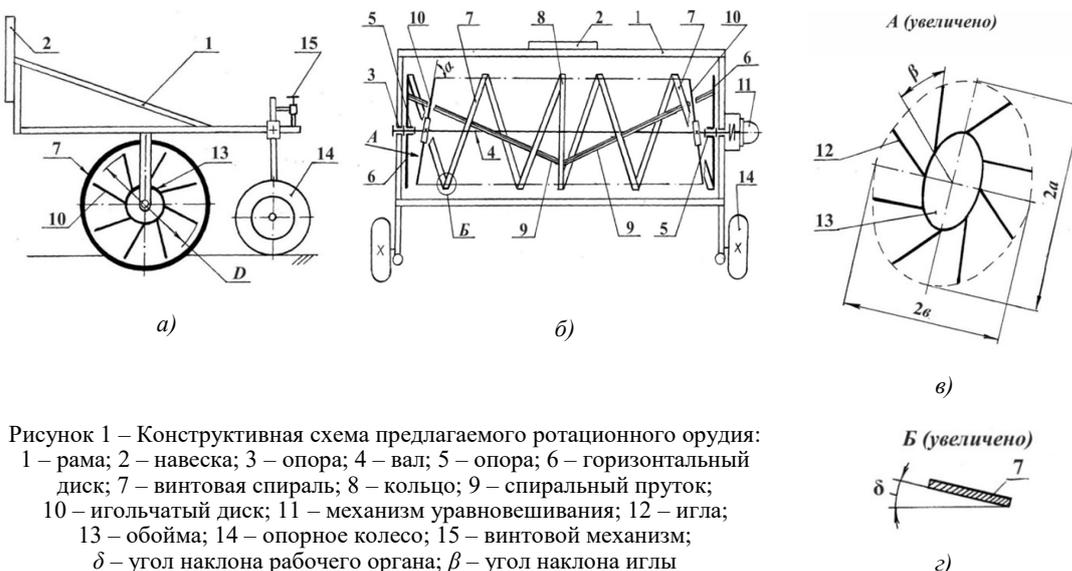


Рисунок 1 – Конструктивная схема предлагаемого ротационного орудия:

- 1 – рама; 2 – навеска; 3 – опора; 4 – вал; 5 – опора; 6 – горизонтальный диск; 7 – винтовая спираль; 8 – кольцо; 9 – спиральный пружок;
- 10 – игольчатый диск; 11 – механизм уравнивания; 12 – игла;
- 13 – обойма; 14 – опорное колесо; 15 – винтовой механизм;
- δ – угол наклона рабочего органа; β – угол наклона иглы

Почвообрабатывающее орудие (рисунок 1, а) состоит из сварной рамы 1 и механизма навески 2. На раме 1 на подшипниковых опорах 3 установлен горизонтальный вал 4, на котором также на подшипниковых опорах 5 установлены горизонтальные диски 6 с жёстко закрепленной винтовой спиралью 7 прямоугольного сечения (полоса) с левой и правой навивкой симметрично относительно соединительного кольца 8. Большая сторона спирали 7 наклонена к образующей цилиндрической поверхности, которая описывает рабочий орган под углом δ (рисунок 1, г). Для обеспечения устойчивой работы агрегата, а также создания дополнительного прикатывающего эффекта витки спирали 7 соединены между собой, а также с дисками 6 и кольцом 8 при помощи спиральных прутков 9 (рисунок 1, б) квадратного сечения с левой и правой навивкой симметрично относительно кольца 8. Прутки 9 обращены к поверхности поля своими ребрами. Иглы 12 дисков установлены на обойме 13 с наклоном назад на угол β (рисунок 1, в). Орудие содержит также опорные колеса 14 с винтовым механизмом 15 для регулирования глубины обработки почвы.

Методика теоретического исследования базировалась на положениях аналитической геометрии и законах классической механики.

Анализ и обсуждение результатов исследований. В связи с тем, что спирально-винтовой рабочий орган предлагаемого орудия выполнен пассивным, поступательная скорость $V_{e(cb)}$ произвольной точки M режущей кромки (рисунок 2) равна её окружной скорости $V_{o(cb)}$:

$$V_{e(cb)} = V_{o(cb)} = D_{cb} \omega_{cb} / 2, \quad (1)$$

где D_{cb} , ω_{cb} – диаметр и угловая скорость вращения спирально-винтового (СВ) рабочего органа.

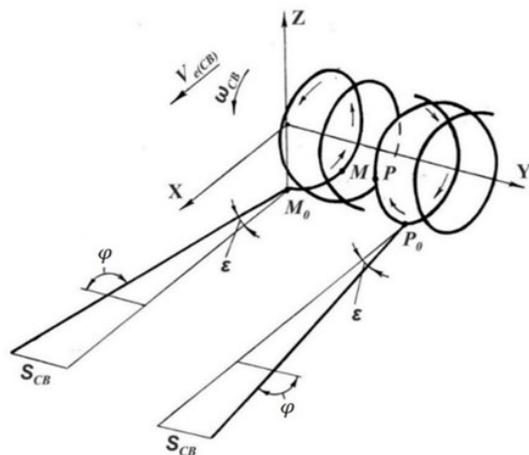


Рисунок 2 – Схема к исследованию кинематики спирально-винтового рабочего органа: M , P – произвольные точки на режущей кромке винтовой спирали; ω_{cb} – угловая скорость вращения спирально-винтового рабочего органа; $V_{e(cb)}$ – поступательная скорость произвольной точки M ; S_{cb} – шаг винтовой спирали; ϵ – угол наклона винтовой спирали к оси X ; φ – угол наклона винтовой спирали к оси Y

При заданных значениях диаметра винтовой спирали и поступательной скорости агрегата угловая скорость определяется по формуле:

$$\omega_{cb} = 2V_{e(cb)} / D_{cb}. \quad (2)$$

Для уравнивания боковых реакций почвы винтовая спираль рабочего органа выполнена из двух половин с одинаковыми параметрами, причём с правой и левой навивкой симметрично относительно вертикальной оси симметрии.

Параметрические уравнения движения произвольной точки M (см. рисунок 2) режущей кромки винтовой спирали, выполненной с правой навивкой, а точки P с левой навивкой в пространственной прямоугольной системе координат $OXYZ$ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} X_{M,P} &= \mp D_{cb} (\varphi - \sin \varphi) / 2, \\ Y_{M,P} &= \mp D_{cb} \varphi \operatorname{tg} \epsilon / 2, \\ Z_{M,P} &= \mp D_{cb} \cos \varphi / 2, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ϵ – угол наклона винтовой спирали (угол подъёма винтовой линии) к оси X , град; φ – угол наклона винтовой спирали к оси Y , град.

Величина перемещения исследуемых точек в пространстве за один и тот же промежуток времени равна между собой и определяется из уравнения:

$$\begin{aligned} S_{M,P} &= \sqrt{(X_{M,P})^2 + (Y_{M,P})^2 + (Z_{M,P})^2} = \\ &= \frac{D_{cb} \sqrt{\varphi^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \epsilon) - 2 \varphi \sin \varphi + 1}}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Проекция скорости точек режущей кромки можно вычислить путём дифференцирования выражения (3) по времени:

$$\left. \begin{aligned} V_{M,P}^X &= dX_{M,P} / dt = D_{cb} \omega_{cb} (1 - \cos \varphi) / 2, \\ V_{M,P}^Y &= dY_{M,P} / dt = \mp D_{cb} \omega_{cb} \operatorname{tg} \epsilon / 2, \\ V_{M,P}^Z &= dZ_{M,P} / dt = D_{cb} \omega_{cb} \sin \varphi / 2. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Модуль (величина) абсолютной скорости исследуемых точек, то есть скорость резания почвы режущими кромками винтовой спирали, определяется согласно выражению:

$$\begin{aligned} V_{M,P} &= \sqrt{(V_{M,P}^X)^2 + (V_{M,P}^Y)^2 + (V_{M,P}^Z)^2} = \\ &= \frac{D_{cb} \omega_{cb} \sqrt{2(1 - \cos \varphi) + \operatorname{tg}^2 \epsilon}}{2}. \end{aligned} \quad (6)$$

После дифференцирования выражения (5) по времени получим проекции ускорения исследуемых точек режущей кромки:

$$\left. \begin{aligned} a_{M,P}^X &= dV_{M,P}^X / dt = D_{cb} \omega_{cb}^2 \sin \varphi / 2, \\ a_{M,P}^Y &= dV_{M,P}^Y / dt = 0, \\ a_{M,P}^Z &= dV_{M,P}^Z / dt = D_{cb} \omega_{cb}^2 \cos \varphi / 2. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Составляющие скорости и ускорения исследуемых точек, как показывают выражения (5) и (7), – переменные параметры, а это спо-

способствует активному крошению почвы и разрушению ее комков.

Спирально-винтовые рабочие органы отличаются от других конструкций наличием не только кривизны, но и кручения режущих элементов (рисунок 3).

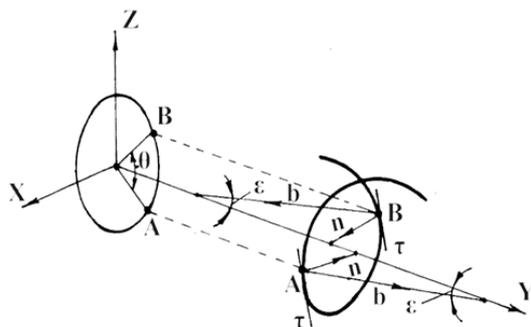


Рисунок 3 – Характеристики отдельных точек винтовой спирали: n – нормаль к поверхности режущей кромки; τ – касательная к поверхности режущей кромки; b – бинормаль к поверхности режущей кромки; ϵ – угол наклона точек внедрения режущей кромки в почву к оси Y ; A – точка выхода режущей кромки из почвы; B – точка входа режущей кромки в почву

Каждая точка режущей кромки спирали характеризуется главной нормалью n , которая направлена к центру круга кривизны, касательной τ , перпендикулярной к главной нормали, а также бинормалью b .

Исследованиями Ермолок Е.В. [19] установлено, что максимальная глубина обработки почвы, будет ограничиваться дугой режущей кромки винтовой спирали, внедрённой в почву, которая находится в пределах угла 2θ .

Рассматривая спирально-винтовой рабочий орган в рабочем положении (рисунок 4), имеем:

$$OB = OC - BC = D_{св} / 2 - a, \quad (8)$$

где a – глубина обработки (прикатывания) почвы, м.

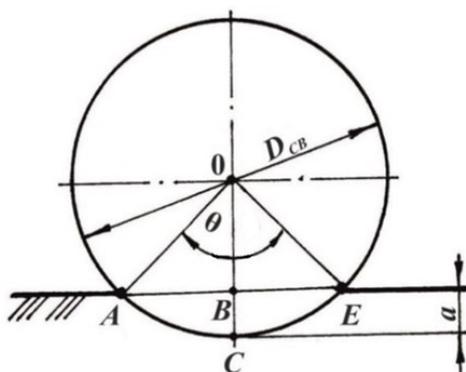


Рисунок 4 – Схема к обоснованию диаметра спирально-винтового рабочего органа:

A – точка выхода режущей кромки из почвы;

E – точка входа режущей кромки в почву;

$D_{св}$ – диаметр спирально-винтового рабочего органа; a – глубина обработки почвы;

θ – угол между точками заглупления и выглупления режущей кромки в почве

С другой стороны:

$$OB = D_{св} \cos \theta / 2, \quad (9)$$

где θ – угол между точками заглупления и выглупления режущей кромки в почве, град.

Приравняв правые части выражений (8) и (9), получим:

$$D_{св} / 2 - a = D_{св} \cdot \cos \theta / 2.$$

Отсюда можно найти выражение для определения диаметра рабочего органа:

$$D_{св} = 2a / (1 - \cos \theta). \quad (10)$$

С учётом того, что $\cos \theta = \cos 45^\circ = 0,707$, зависимость (11) принимает следующий вид:

$$D_{св} = 6,8a. \quad (12)$$

Если взять глубину обработки почвы $a = 0,06 \dots 0,08$ м, то в соответствии с выражением (12): $D_{св} = 0,408 \dots 0,544$ м. При проектировании ротационного комбинированного орудия целесообразно принять за основу диаметр рабочего органа $D_{св} = 0,470$ м.

В теории цилиндрических винтовых пружин угол наклона винтовой спирали называют углом подъёма винтовой линии. Геометрия цилиндрической винтовой линии такова, что образующие цилиндра по всему периметру пересекают её под одинаковым углом γ (см. рисунок 2). В связи с этим угол ϵ наклона винтовой спирали – постоянная величина во всех её точках.

В общем случае, когда величины конструктивных параметров известны (заданы), угол наклона винтовой спирали определяют по формуле:

$$\epsilon = \arctg [S_{св} / (\pi D_{св})], \quad (13)$$

где $S_{св}$, $D_{св}$ – шаг и диаметр винтовой спирали.

Вместе с тем, конструктивные параметры ротационного комбинированного орудия должны обеспечивать входение винтовой спирали в почву со скольжением. В противном случае увеличится тяговое сопротивление агрегата.

В спирально-винтовых рабочих органах угол наклона витков спирали к вертикали равен углу ϵ наклона спирали (углу подъёма винтовой линии).

В ходе технологического процесса режущая кромка винтовой спирали разрезает почву (монолит), а рабочие её поверхности производят сжатие и незначительный сдвиг почвы [20,21,22]. Каждый элемент витка спирали представляет собой локально непрерывно действующий трёхгранный (пространственный) клин ABC .

Пусть элемент витка спирали с углом наклона ϵ в каждый момент времени под действием вертикального усилия P_B внедрится в почву под углом β . Этому сопротивляется фронтальная реакция почвы R_ϕ на рабочую поверхность спирали:

$$P_B \cos (90^\circ - \beta) > F_{тр}. \quad (14)$$

Сила трения почвы о рабочую поверхность винтовой спирали определяется по известной формуле:

$$F_{mp} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_{mp} = P_B \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_{mp}, \quad (15)$$

где N – нормальная реакция почвы;
 φ_{mp} – угол трения скольжения почвы о рабочую поверхность винтовой спирали, град.

После подстановки в выражение (14) величины силы трения и, учитывая, что $\cos(90^\circ - \beta) = \sin \beta$, имеем:

$$P_B \sin \beta > P_B \cos \beta \operatorname{tg} \varphi_{mp}. \quad (16)$$

Разделив обе части этого неравенства на $\cos \beta$, получим:

$$\operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \beta \cdot \varphi_{mp} \text{ или } \beta > \varphi_{mp}. \quad (17)$$

Выражение (17) показывает, что рабочий орган внедряется в почву со скольжением только тогда, когда угол вхождения спирали в почву больше угла трения скольжения почвы о рабочую поверхность. Из этого следует:

$$\beta = 90^\circ - \varepsilon. \quad (18)$$

Подставив значение угла β в неравенство (17), получим зависимость для обоснования угла наклона спирали, которая обеспечивает скользкое вхождение рабочего органа в почву. Она имеет следующий вид:

$$\varepsilon < 90^\circ - \varphi_{mp}. \quad (19)$$

Анализ выражения (19) с учётом угла трения скольжения для различных типов почвы, а также результатов исследований [5] свидетельствует, что угол трения находится в пределах $14^\circ \dots 42^\circ$. Для проектировочных расчетов примем $\varepsilon = 48^\circ \dots 76^\circ$.

Для обеспечения работоспособности предлагаемого орудия с минимальными энергозатратами необходимо также обосновать угол δ наклона большой стороны полосы спирали к образующей цилиндрической поверхности, которая описывает рабочий орган. Это можно сделать, взяв за основу изложенную методику определения угла наклона спирали. Установленная с ее использованием теоретическая зависимость будет иметь следующий вид:

$$\delta > \varphi_{mp}. \quad (20)$$

С учётом значений угла трения скольжения для различных типов почвы и конструктивных параметров рабочего органа, обеспечивающих его эффективную работу, в проектировочных расчётах угол наклона большой стороны полосы спирали к образующей цилиндрической поверхности примем $\delta = 27^\circ \dots 43^\circ$.

Выводы. Анализ установленных кинематических зависимостей показал, что точки режущей кромки винтовой спирали совершают при движении орудия сложное перемещение в пространстве, что способствует качественному крошению почвы. В результате выполнения исследований также были определены конструктивные параметры спирально-винтового рабочего органа: диаметр винтовой спирали – 0,470 м; угол наклона винтовой спирали (угол подъёма винтовой линии) – $48^\circ \dots 76^\circ$; угол наклона большой стороны полосы к образующей цилиндрической поверхности, которая описывает винтовая спираль – $27^\circ \dots 43^\circ$.

Литература

1. Мазитов Н.К. Комбинированные почвообрабатывающие агрегаты. Казань: Таткнигоиздат, 1984. 152 с.
2. А. с. № 801780 СССР, А01D 43/12. Жатка / Н.Г. Энвальд, Х.С. Гайнанов, Ш.Р. Галиуллин и др. (СССР); Опубл. 07.02.1981, Б. И. № 5.
3. Гайнанов Х.С. Совмещение механизированных операций в земледелии. М.: Россельхозиздат, 1983. 32 с.
4. Валиев, А.Р. Исследование взаимодействия ротационного конического рабочего органа с почвой / А.Р. Валиев, Ф.Ф. Яруллин // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 10 (220). – С. 27-31.
5. Матяшин Ю.И., Матяшин Н.Ю. Теория сельхозмашин с ротационными рабочими органами // Вестник Казанского ГАУ. 2009. № 2(12). с. 179–185.
6. Юнусов Р.Г., Булгариев Г.Г., Пикмуллин Г.В. Уравнения движения ротационных (винтовых) рабочих органов в почве // Вестник Казанского ГАУ. 2012. Т. 7. № 4 (26). С. 88-90.
7. Theoretical fundamentals for determining soil erosion potential. Periódico Tchê Química: órgão de divulgação científica e informativa [recurso eletrônico] / I. Maksimov, N. Adigamov, A. Mustafin, et al. // Grupo Tchê Química. 2019. Vol. 16 No. 31. P. 540–557.
8. Яхин, С.М. Обоснование конструктивно-технологических параметров дисковой шлифовальной установки / С.М. Яхин, Р.И. Ибяттов, Ф.Ф. Яруллин, З.Д. Гургенидзе // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 1 (247). – С. 27-31.
9. Яхин, С.М. Кинематика игольчатого эллипсоидного диска ротационного почвообрабатывающего орудия / С.М. Яхин, И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев, Ф.Ф. Яруллин // Техника и оборудование для села. – 2020. № 2 (272). С. 12-15.
10. Яхин С.М., Гайнутдинов Р.Х., Марданов Р.Х. Ротационная борона с эллипсоидными дисками // Сельский механизатор. 2017. №6. С.8–9.
11. Валиев А.Р., Яруллин Ф.Ф. Определение оптимальных параметров взаимного расположения конических рабочих органов на раме почвообрабатывающего орудия // Вестник Казанского ГАУ. 2012. № 3 (25). С. 68–73.
12. Результаты экспериментальных исследований ротационного конического рабочего органа в почвенном канале / А.Р. Валиев, Ф.Ф. Яруллин, Р.И. Ибяттов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2014. №3 (33). С.78–85.
13. Валиев А.Р., Ибяттов Р.И., Яруллин Ф.Ф. Обоснование параметров конического почвообрабатывающего рабочего органа путем решения многокритериальной задачи оптимизации // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 7. С.69–72.
14. Yarullin F., Valiev A., Muhamadyarov F., Ziganshin B. Determination of energy characteristics of conical rotary working tool for tillage. 19th International Scientific Conference Engineering For Rural Development Proceedings, Volume 19 May 20-22, 2020 / Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, Jelgava, 2020 – P. 1069 – 1075.

15. Mukhametshin I., Valiev A., Muhamadyarov F., Kalimullin M., Yarullin F. Kinematic analysis of conical rotary subsoil loosener for tillage. 19th International Scientific Conference Engineering For Rural Development Proceedings, Volume 19 May 20-22, 2020 / Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, Jelgava, 2020 – P. 1946 – 1952.

16. Результаты полевых исследований почвообрабатывающего орудия с эллипсоидными дисками / Ф.Ф. Яруллин, Р.И. Ибяттов, С.М. Яхин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2 (53). С. 123–127.

17. Theoretical substantiation of parameters of rotary subsoil loosener / A. Valiev, I. Mukhametshin, F. Muhamadyarov, et al. // 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, 2019. Vol. 18. P. 312–318.

18. Мухаметшин И. С., Валиев А. Р. К анализу кинематики ротационного рабочего органа конусной формы // Вестник Ульяновской ГСХА. 2016. №2(34). С. 179–182.

19. Ермолок Е.В. Разработка и обоснование параметров рабочего органа геликоидального типа для поверхностной обработки почв: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Рязань, 1989. 24 с.

20. Особенности взаимодействия винтового рыхлителя с почвой / И. С. Мухаметшин, А. Р. Валиев, А.В. Алешкин и др. // Вестник Ульяновской ГСХА. 2018. №4(44). С. 50–182.

21. Increase of efficiency of tractors use in agricultural production / I.G. Galiev, K.A. Khafizov, N.R. Adigamov, et al. // 17th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, 2018. Vol. 17. P. 373-377.

22. Optimization of main parameters of tractor and unit for seeding cereal crops with regards to their impact on crop productivity / R.N. Khafizov, K.A. Khafizov, A.A. Nurmiev, et al. // 17th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, 2018. Vol. 17. P. 168–175.

Сведения об авторах:

Нуриев Ленар Мидхатович – соискатель кафедры общинженерных дисциплин;

Яруллин Фанис Фаридович – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, e-mail: fanis4444@mail.ru;

Яхин Сергей Мирбатович – доктор технических наук, профессор кафедры общинженерных дисциплин;

Алиакберов Ильфат Ирфанович – кандидат технических наук; заведующий лабораториями кафедры общинженерных дисциплин;

Хусаинов Раиль Камилевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе;

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

KINEMATIC ANALYSIS AND SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF A SPIRAL-SCREW WORKING UNIT OF A SOIL PROCESSING MACHINE

Nuriev L.M., Yarullin F.F., Yakhin S.M., Aliakberov I.I., Khusainov R.K.

Abstract. To improve the quality of pre-sowing soil tillage in the Republic of Tatarstan, a tillage implement has been developed, which, unlike other designs, contains a helical spiral and needle ellipsoid disks coaxially mounted on a horizontal shaft. Passive helix creates a compacted seed bed at the depth of seed placement; needle ellipsoidal disks are active and provide mulching of the surface soil layer. A preliminary analysis of the processes of interaction of the working unit with the soil is possible on the basis of the parametric equations of motion of individual points of the cutting edges of the helical spiral, as well as expressions for determining their speeds and accelerations. The design parameters selected during the calculation and design of the proposed rotary combined tool should ensure that the helical spiral enters the soil with sliding. Otherwise, the traction resistance of the unit increases. To justify the basic design parameters of a spiral-screw working unit, preliminary construction of theoretical dependences is also necessary. According to the calculation results, the points of the cutting edge of the helical spiral make a complex movement in space when the gun moves. The components of the speed and acceleration of these points are variable parameters, which contributes to the active crumbling of the soil and the destruction of its lumps. The optimal design parameters of the working unit of the gun: the diameter of the helical spiral is 0.470 m; the angle of inclination of the helical spiral (the angle of the helix) - 10 ° ... 25 °; the angle of inclination of the large side of the strip to the generatrix of the cylindrical surface that describes the helical spiral is 25 ° ... 30 °.

Key words: presowing tillage; spiral-screw working unit, kinematic and structural parameters.

References

1. Mazitov N.K. *Kombinirovannye pochvoobrabatyvayushchie agregaty*. [Combined soil tillage machines]. Kazan: Tatknigoizdat, 1984. P. 152.

2. A. s. № 801780 SSSR, A01D 43/12. *Zhatka*. [Reaper]. / N.G. Envald, Kh.S. Gaynanov, Sh.R. Galiullin and others. (SSSR); Opubl. 07.02.1981, B. I. № 5.

3. Gaynanov Kh.S. *Sovmeschenie mekhanizirovannykh operatsiy v zemledelii*. [Combination of mechanized operations in agriculture]. M.: Rosselkhozizdat, 1983. P. 32.

4. Valiev A.R., Yarullin F.F. Study of the interaction of the rotary conical working body with the soil. [Issledovaniye vzaimodeystviya rotatsionnogo konicheskogo rabocheho organa s pochvoy]. // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2015. No. 10 (220). P. 27-31.

5. Matyashin Yu.I., Matyashin N.Yu. Theory of agricultural machinery with rotating working units. [Teoriya selkhoz-mashin s rotatsionnymi rabochimi organami]. // *Vestnik Kazanskogo GAU. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2009. № 2(12). P. 179–185.

6. Yunusov R.G., Bulgariyev G.G., Pikmullin G.V. The equations of rotational (helical) working units motion in the soil. [Uravneniya dvizheniya rotatsionnykh (vintovykh) rabochikh organov v pochve]. // *Vestnik Kazanskogo GAU. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2012. Vol. 7. № 4 (26). P. 88-90.

7. Theoretical fundamentals for determining soil erosion potential. Periódico Tchê Química: órgão de divulgação científica e informativa [recurso eletrônico] / I. Maksimov, N. Adigamov, A. Mustafin, et al. // *Grupo Tchê Química*. 2019. Vol. 16 No. 31. P. 540–557.

8. Yakhin S.M., Ibyatov R.I., Yarullin F.F., Gurgenzidze Z.D. Justification of the design and technological parameters of the disk grinding installation. [Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov diskovoy shlifoval'noy

ustanovki]. // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2018. No. 1 (247). P. 27-31.

9. Yakhin S.M., Aliakberov I.I., Nuriev L.M., Yarullin F.F. Kinematics of an ellipsoidal needle disc of a rotary tillage tool. [Kinematika igol'chatogo ellipsovidnogo diska rotatsionnogo pochvoobrabatyvayushchego orudiya]. // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2020. No. 2 (272). P. 12-15.

10. Yakhin S.M., Gaynutdinov R.Kh., Mardanov R.Kh. Rotary harrow with elliptical disks. [Rotatsionnaya borona s ellipsovidnymi diskami]. // *Selskiy mekhanizator. - Rural mechanic*. 2017. №6. P. 8-9.

11. Valiev A.R., Yarullin F.F. Determination of optimal parameters of the mutual arrangement of conical working units on the frame of a tillage implement. [Opredelenie optimalnykh parametrov vzaimnogo raspolzheniya konicheskikh rabochikh organov na rame pochvoobrabatyvayushchego orudiya]. // *Vestnik Kazanskogo GAU. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2012. № 3 (25). P. 68–73.

12. The results of experimental studies of a rotating conical working unit in the soil canal. [Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy rotatsionnogo konicheskogo rabochego organa v pochvennom kanale]. / A.R. Valiev, F.F. Yarullin, R.I. Ibyatov and others. // *Vestnik Kazanskogo GAU. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2014. №3 (33). P. 78–85.

13. Valiev A.R., Ibyatov R.I., Yarullin F.F. Substantiation of the parameters of the conical tillage working unit by solving the multicriteria optimization problem. [Obosnovanie parametrov konicheskogo pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa putem resheniya mnogokriterialnoy zadachi optimizatsii]. // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2017. № 7. P. 69–72.

14. Yarullin F., Valiev A., Muhamadyarov F., Ziganshin B. Determination of energy characteristics of conical rotary working tool for tillage. 19th International Scientific Conference Engineering For Rural Development Proceedings, Volume 19 May 20-22, 2020 / Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, Jelgava, 2020 - P. 1069 - 1075.

15. Mukhametshin I., Valiev A., Muhamadyarov F., Kalimullin M., Yarullin F. Kinematic analysis of conical rotary subsoil loosener for tillage. 19th International Scientific Conference Engineering For Rural Development Proceedings, Volume 19 May 20-22, 2020 / Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, Jelgava, 2020 - P. 1946 - 1952.

16. The results of field studies of a tillage implement with ellipsoidal disks. [Rezultaty polevykh issledovaniy pochvoobrabatyvayushchego orudiya s ellipsovidnymi diskami]. / F.F. Yarullin, R.I. Ibyatov, S.M. Yakhin and others. // *Vestnik Kazanskogo GAU. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2019. Vol. 14. № 2 (53). P. 123–127.

17. Theoretical substantiation of parameters of rotary subsoil loosener. / A.Valiev, I.Mukhametshin, F.Muhamadyarov, et al. // 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, 2019. Vol. 18. P. 312–318.

18. Mukhametshin I. S., Valiev A. R. To the analysis of the kinematics of a rotating working unit of a cone shape. [K analizu kinematiki rotatsionnogo rabochego organa konusnoy formy]. // *Vestnik Ulyanovskoy GSKhA. – The Herald of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2016. №2(34). P. 179–182.

19. Ermolko E.V. *Razrabotka i obosnovanie parametrov rabochego organa gelikoidalnogo tipa dlya poverkhnostnoy obrabotki pochv: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01*. (Development and justification of the parameters of the working unit of the helicoidal type for surface soil treatment: author's abstract of dissertation for a degree of Ph.D. of Technical sciences: 05.20.01). Ryazan, 1989. P. 24.

20. Features of the interaction of a screw cultivator with soil. [Osobennosti vzaimodeystviya vintovogo rykhlitelya s pochvoy]. / I.S. Mukhametshin, A.R. Valiev, A.V. Aleshkin and others. // *Vestnik Ulyanovskoy GSKhA. – The Herald of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018. №4(44). P. 50–182.

21. Increase of efficiency of tractors use in agricultural production. / I.G. Galiev, K.A. Khafizov, N.R. Adigamov, et al. // 17th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, 2018. Vol. 17. P. 373-377.

22. Optimization of main parameters of tractor and unit for seeding cereal crops with regards to their impact on crop productivity. / R.N. Khafizov, K.A. Khafizov, A.A. Nurmiev, et al. // 17th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, 2018. Vol. 17. P. 168–175.

Authors:

Nuriev Lenar Midkhatovich - applicant for the Department of General Engineering Disciplines

Yarullin Fanis Faridovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technosphere security Department, e-mail: fanis4444@mail.ru

Yakhin Sergey Mirbatovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Engineering Disciplines;

Aliakberov Ilfat Irfanovich – Ph.D. of Technical sciences; Head of laboratories of General Engineering Disciplines Department;

Khusainov Rail Kamilevich - Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor of Machinery and equipment in agribusiness Department.

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia