

УДК 631.313.5

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А.

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ ИГЛ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИГОЛЬЧАТЫХ ДИСКОВ**

Аннотация. В статье дано теоретическое обоснование оптимальной формы игл игольчатых дисков для поверхностной обработки почвы. На основании кинематического анализа движения игольчатого диска получены теоретические зависимости по обоснованию оптимального угла вхождения

иглы в почву. Разработана методика проектирования профиля иглы по форме логарифмической спирали. Получена графическая интерпретация теоретических зависимостей, в которых отражено, что с уменьшением глубины обработки иглы приближаются к прямолинейной форме.

Ключевые слова: обработка почвы, игольчатый диск, циклоида, скорость, форма иглы.

Бабицький Л. Ф., Соболевський І. В., Куклін В. А.

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ФОРМИ ГОЛОК ҐРУНТООБРОБНИХ ГОЛЧАСТИХ ДИСКІВ

Анотація. У статті дано теоретичне обґрунтування оптимальної форми голок голчастих дисків для поверхневої обробки ґрунту. На підставі кінематичного аналізу руху голчастого диска отримано теоретичні залежності щодо обґрунтування оптимального кута входження гілки в ґрунт. Розроблено методику проектування профілю гілки за формою логарифмічної спіралі. Отримано графічну інтерпретацію теоретичних залежностей, у яких відображено, що із зменшенням глибини обробки гілки наближаються до прямолінійної форми.

Ключові слова: обробка ґрунту, голчастий диск, циклоїда, швидкість, форма гілки.

Babytskiy L. F., Sobolevskiy I. V., Kuklin V. A.

RATIONALE FOR BEST FORM OF NEEDLES OF SOIL TILLING WHEEL SPIDER

Summary. In this paper we give a theoretical justification of the optimal form of needles for the needle discs for tillage. Basing on kinematic analysis of movement of the wheel spider we received the theoretical justification depending on the optimum angle of the needle entry into the soil, which depends on the disk radius and depth of processing, and does not depend on the speed of the wheel spider. Given the location of the instantaneous center of rotation the absolute angular speed of rotation of the needle drive is found. The technique of designing the profile of the needle on a logarithmic spiral is received.

According to the definition of the design scheme of the needle entry angle into the ground rolling without slipping a disc needle trajectory of the needle point of contact with the ground will be a cycloid. A graphical interpretation of the theoretical curves which reflect that while decreasing the depth of processing the needles approach a straightforward manner is specified.

Key words: soil tillage, wheel spider, cycloid, speed, needle shape.

Постановка проблеми. Ротационные рабочие органы, в частности игольчатые диски, широко применяются в современных системах минимальной обработки почвы и экологического земледелия [1; 2]. Снижение энергоемкости поверхностной обработки почвы в сложных современных экономических условиях является важнейшей задачей.

Анализ литературы. Теоретическим исследованиям игольчатых рабочих органов посвящен ряд работ (например [3; 4]), в то же время вопрос снижения энергоемкости поверхностной обработки почвы путем обоснования рациональной формы игл игольчатых дисков исследован недостаточно.

Цель статьи – теоретическое обоснование оптимальной формы игл игольчатых дисков для поверхностной обработки почвы.

Изложение основного материала. Для обеспечения минимальных энергозатрат при работе игольчатых дисков необходимо применять диски с криволинейными иглами, касательная к профилю иглы которых в точке А в момент входжения иглы в почву должна совпадать с вектором скорости V_{abc} (см. рис. 1).

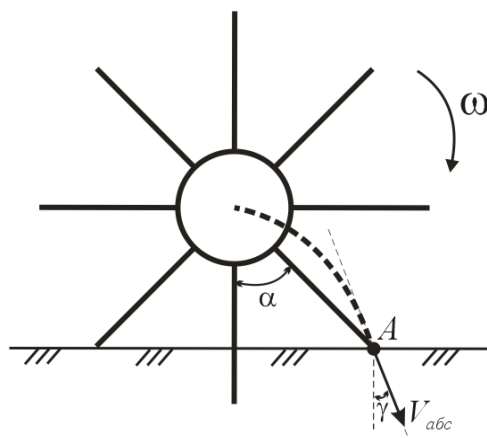


Рис. 1. Схема работы игольчатого диска.

При качении игольчатого диска без проскальзывания траектория движения точки иглы А будет представлять собой циклоиду [5]. Момент входжения иглы в почву характеризуется углом α (рис. 2). Абсолютная скорость V_{abc} точки иглы А будет равна векторной сумме поступательной скорости движения диска V и скорости вращательного движения U относительно оси вращения игольчатого диска [6]:

$$\vec{V}_{abc} = \vec{V} + \vec{U} . \quad (1)$$

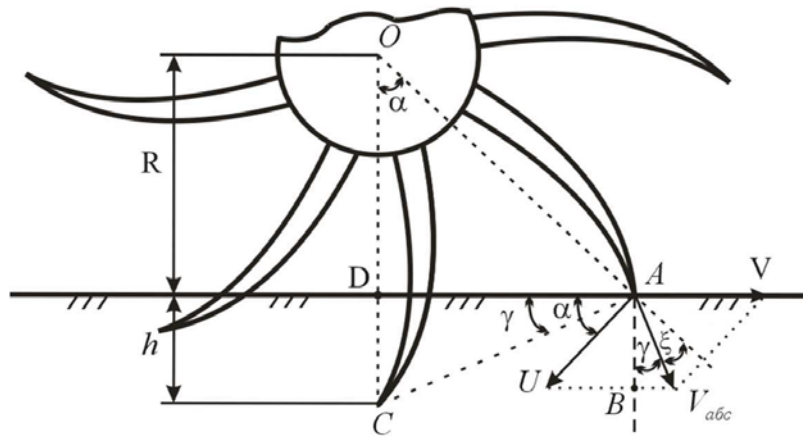


Рис. 2. Расчетная схема к определению угла вхождения иглы в почву.

Используя теорему косинусов, найдем значение абсолютной скорости:

$$V_{abc} = \sqrt{V^2 + U^2 + 2 \cdot V \cdot U \cdot \cos(\pi - \alpha)}. \quad (2)$$

Считая, что мгновенный центр вращения расположен в точке C [3], получим

$$V = U. \quad (3)$$

Из рис. 2 следует, что

$$\cos \alpha = \frac{R}{R+h}, \quad (4)$$

а с учетом тригонометрических преобразований $\cos(\pi - \alpha) = -\cos \alpha = -\frac{R}{R+h}$.

В результате из выражения (2) получим:

$$V_{abc} = \sqrt{V^2 + V^2 - 2 \cdot V \cdot V \cdot \frac{R}{R+h}} = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sqrt{1 - \frac{R}{R+h}}. \quad (5)$$

Из треугольника $AB\vec{V}_{abc}$ отрезок AB равен $AB = V_{abc} \cdot \cos \gamma$.

Из треугольника $AB\vec{U}$ отрезок AB равен $AB = U \cdot \sin \alpha$, тогда $V_{abc} \cdot \cos \gamma = U \cdot \sin \alpha$.

$$\cos \gamma = \frac{U}{V_{abc}} \cdot \sin \alpha. \quad (6)$$

С учетом выражений (3), (4) и (5) и учитывая, что $\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$, формула (6) будет иметь вид:

$$\cos \gamma = \frac{U}{V_{abc}} \cdot \sin \alpha = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h}\right)^2}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{R}{R+h}}} = \frac{\sqrt{1 - \psi^2}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \psi}}, \quad (7)$$

где $\psi = \frac{R}{R+h}$.

Данную зависимость можно получить и другим способом. Считая, что мгновенный центр вращения находится в точке C [3], найдем абсолютную угловую скорость вращения иглового диска:

$$\omega_{abc} = \frac{V}{R+h}. \quad (8)$$

Абсолютная скорость точки иглы A, соответственно, равна:

$$V_{abc} = \omega_{abc} \cdot AC. \quad (9)$$

Из прямоугольного треугольника AOD найдем:

$$AD = \sqrt{(R+h)^2 - R^2}. \quad (10)$$

Рассматривая прямоугольный треугольник ADC, получим:

$$AC = \sqrt{(CD)^2 + (AD)^2} = \sqrt{h^2 + (R+h)^2 - R^2}. \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{AD}{AC} = \frac{\sqrt{(R+h)^2 - R^2}}{\sqrt{h^2 + (R+h)^2 - R^2}} = \\ &= \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h}\right)^2}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{R}{R+h}}} = \frac{\sqrt{1 - \psi^2}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \psi}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Угол вхождения иглы в почву γ зависит от радиуса диска и глубины обработки и не зависит от скорости движения иглового диска.

Для построения профиля иглы в точке A необходимо провести касательную под углом ξ (рис. 3).

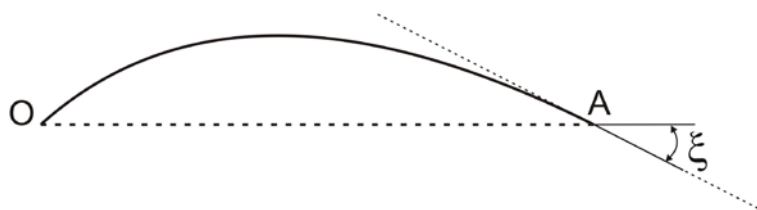


Рис. 3. Схема к построению профиля иглы.

$$\xi = \alpha - \gamma = \arccos(\psi) - \arccos\left(\frac{\sqrt{1-\psi^2}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{1-\psi}}\right), \quad (13)$$

где $\psi = \frac{R}{R+h}$.

Дальнейшее построение профиля иглы выполняется по форме логарифмической спирали в соответствии с известной методикой [7].

Анализируя графическую интерпретацию зависимости (13) (рис. 4), можно сделать вывод, что с уменьшением глубины обработки (возрастание величины ψ) угол ξ уменьшается, и при $h = 0$ угол $\xi = 0$ (т. е. иглы приближаются к прямолинейной форме). При возрастании глубины обработки (уменьшение величины ψ) угол ξ возрастает.

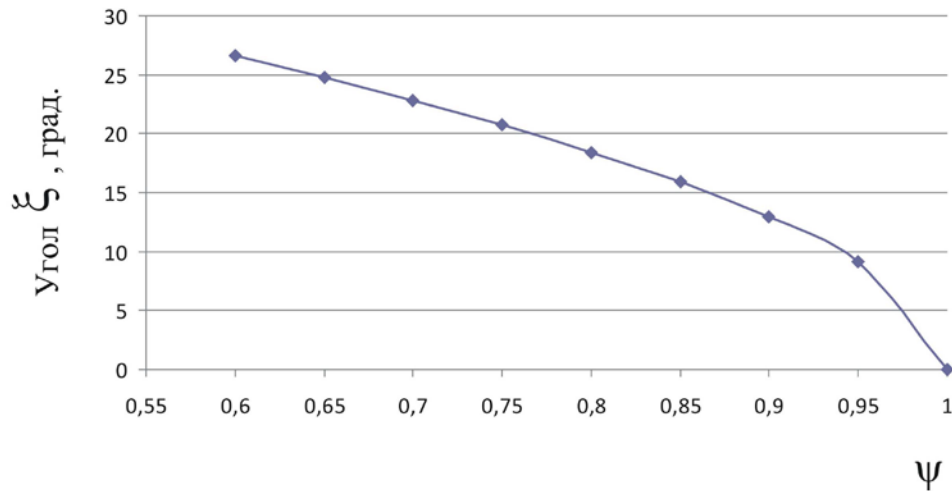


Рис. 4. Зависимость угла ξ от ψ .

Расчет, выполненный для стандартного игольчатого диска диаметром 550 мм, показывает, что при увеличении глубины обработки от 4 до 6 см угол ξ возрастает от 11° до $13,5^\circ$ (рис. 5).

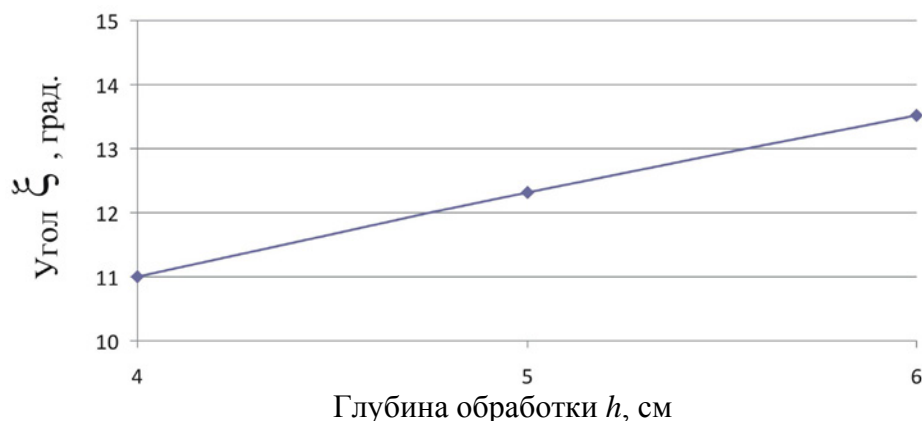


Рис. 5. Зависимость угла ξ от глубины обработки h для игольчатого диска диаметром 550 мм.

Выводы. На основании кинематического анализа движения игольчатого диска получены теоретические зависимости по обоснованию оптимального угла вхождения иглы в почву. Разработана методика проектирования профиля иглы по форме логарифмической спирали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Позняк С. С. Экологическое земледелие : монография / С. С. Позняк, Ч. А. Романовский ; [под общ. ред. к.с.-х.н. С. С. Позняка]. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 327 с.
2. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / [М. К. Шикуча, С. С. Антоненко, А. Д. Баласев та ін.]. – К. : Вид. центр Нац. аграрн. ун-ту, 2000. – 387 с.
3. Кравчук В. О качении дисков игольчатой бороны при перемещении по поверхности почвы / В. Кравчук, Г. Хайлис, В. Шевчук // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 10. – С. 23–25.
4. Синеоков Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
5. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – [10-е изд., стер.]. – М. : Наука, 1972. – 872 с.
6. Добронравов В. В. Курс теоретической механики / В. В. Добронравов, Н. Н. Никитин. – М. : Высшая школа, 1983. – 575 с.
7. Бабицкий Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин / Л. Ф. Бабицкий. – К. : Урожай, 1998. – 164 с.