

ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

DOI 10.12737/
УДК 631.313.72

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ИГЛ РОТАЦИОННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТЯГОВО-ПРИВОДНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ

Савельев Юрий Александрович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: juri.savelev@mail.ru

Петров Александр Михайлович, канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: Petrov_AM@ssaa.ru

Ишкин Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ishkin_pa@mail.ru

Петров Михаил Александрович, соискатель кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: petrovma_89@mail.ru

Ключевые слова: почва, орудие, диск, форма, обработка, эффективность.

Цель исследований – повышение энергоэффективности обработки почвы за счет обоснования формы игл ротационных рабочих органов тягово-приводного почвообрабатывающего орудия. Повышение энергоэффективности обработки почвы является одной из важных задач в повышении рентабельности и экологичности сельскохозяйственного производства. Предложено повысить энергоэффективность обработки почвы за счет применения тягово-приводного почвообрабатывающего орудия с активными рабочими органами, не создающего высоких тяговых сопротивлений и не требующего большого тягово-цепного веса агрегирующего трактора. Установлена возможность повышения энергоэффективности агрегата за счет снижения буксования колес трактора и потерь на перекачивание агрегата, что достигается передачей части мощности через вал отбора мощности на приводные игольчатые рабочие органы, которые компенсируют тяговое сопротивление орудия и создают толкающее усилие, снижая сопротивление на перекачивание. Исследовано влияние формы игл приводных рабочих органов на направление равнодействующего вектора сопротивления деформации почвы. Наиболее выгодной формой иглы является такая форма, которая обеспечивает минимальное сопротивление заглублению иглы в почву, а равнодействующий вектор сопротивления деформации почвы иглой имеет минимальную величину вертикальной составляющей, т.е. все сопротивление почвы направлено на создание толкающего усилия. Для этого форма иглы должна обеспечивать заглубление всей ее рабочей части через одну точку встречи иглы с поверхностью поля. Получена теоретическая зависимость, которая позволяет определить оптимальный радиус кривизны рабочей части иглы в зависимости от диаметра диска и глубины рыхления почвы.

SUBSTANTIATION OF NEEDLE SHAPE OF TRACTION-DRIVEN TILLAGE TOOLS

Yu. A. Savelyev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Agricultural Machines and Mechanization of Animal Husbandry», FSBEI HE Samara State Agrarian University.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: juri.savelev@mail.ru

A. M. Petrov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Agricultural Machines and Mechanization of Animal Husbandry», FSBEI HE Samara State Agrarian University.
446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: Petrov_AM@ssaa.ru

P. A. Ishkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Electrification and Automation of Agrarian and Industrial complex», FSBEI HE Samara State Agrarian University.
446442, Samara region, settlement Ust'-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: ishkin_pa@mail.ru

M. A. Petrov, Graduate Student of the Department «Agricultural Machines and Mechanization of Animal Husbandry», FSBEI HE Samara State Agrarian University.
446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: petrovma_89@mail.ru

Keywords: soil, tool, disc, shape, tillage, efficiency.

Energy efficiency increase during soil cultivation by substantiating the shape of needles of rotary working parts of traction-driven tillage tools is the aim of the research. Tillage energy efficiency increase is one of the important tasks in improving the profitability and sustainability of agricultural production. It is proposed to increase cultivation energy efficiency due to the use of traction-drive tilling implement with active working parts, not creating high traction resistance and not requiring a large towing weight of aggregated tractor. The possibility of increasing the efficiency of the unit by reducing slipping of the tractor wheels and loss on rolling of the unit has been determined, which is achieved by transferring part of the power using the PTO of tractor to the drive working parts of tilling implement, which compensate traction resistance of the implement and create pushing force, reducing the resistance to rolling. The influence of the needle shape of the driving working parts on the direction of the resultant vector of resistance to soil deformation is investigated. The most advantageous shape of the needle is such one that provides minimal resistance to the penetration of the needle into the soil, and the resultant vector of resistance to soil deformation by it has a minimum value of the vertical component, i.e. total soil resistance is aimed at creating a pushing force. For this result the shape of the needle should provide a deepening of its entire working part through one point of the needle contact with the surface of the field. A theoretical dependence has been obtained that allows determining the optimal radius of curvature of the working part of the needle, depending on the disk diameter and the depth of loosening of the soil.

Энергоэффективность сельскохозяйственного производства во многом определяется энергоэффективностью каждого технологического процесса. В растениеводстве к наиболее энергоемким операциям относят обработку почвы, на которую приходится до 40% энергетических затрат всей технологии [1]. В связи с этим актуальными и значимыми являются исследования, направленные на оптимизацию технологических параметров машинотракторных агрегатов, позволяющие повысить эффективность использования энергетических ресурсов в растениеводстве.

Цель исследований – повышение энергоэффективности обработки почвы за счет обоснования формы игл ротационных рабочих органов тягово-приводного почвообрабатывающего орудия.

Задача исследований – определить влияние формы игл приводных рабочих органов на направление равнодействующего вектора сопротивления деформации почвы.

Материалы и методы исследований. Повышение энергоэффективности обработки почвы возможно за счет применения тягово-приводных почвообрабатывающих орудий с активными рабочими органами, не создающих высоких тяговых сопротивлений и не требующих большого тягово-цепного веса агрегирующего трактора [2-5].

Для повышения энергоэффективности обработки почвы разработано тягово-приводное почвообрабатывающее орудие (рис. 1), имеющее малое тяговое сопротивление. Снижение тягового сопротивления орудия достигается за счет передачи основной доли мощности, потребляемой орудием на технологический процесс рыхления почвы, через вал механизма отбора мощности трактора на приводные ротационные рабочие органы, которые в свою очередь создают толкающее усилие, минимизируя тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия [6, 7].

Тягово-приводное почвообрабатывающее орудие (рис. 1) содержит раму 1, сцепное устройство 2, приводные ротационные рабочие органы – игольчатые диски 3 и 4, расположенные в два ряда. На раме 1 установлен конический редуктор 5, входной вал 6 которого соединен с

синхронным валом отбора мощности трактора карданным валом 7, на выходном валу 8 редуктора 5 установлены сменные звездочки 9 и 10, соединенные цепью 11 и 12 со сменными звездочками 13 на переднем 14 и на заднем валах ротационных рабочих органов. Ряды рабочих органов 3 и 4 расположены перпендикулярно направлению движения орудия, образуя шахматный порядок, и выполнены в виде батарей игольчатых дисков с иглами эвольвентной кривизны.

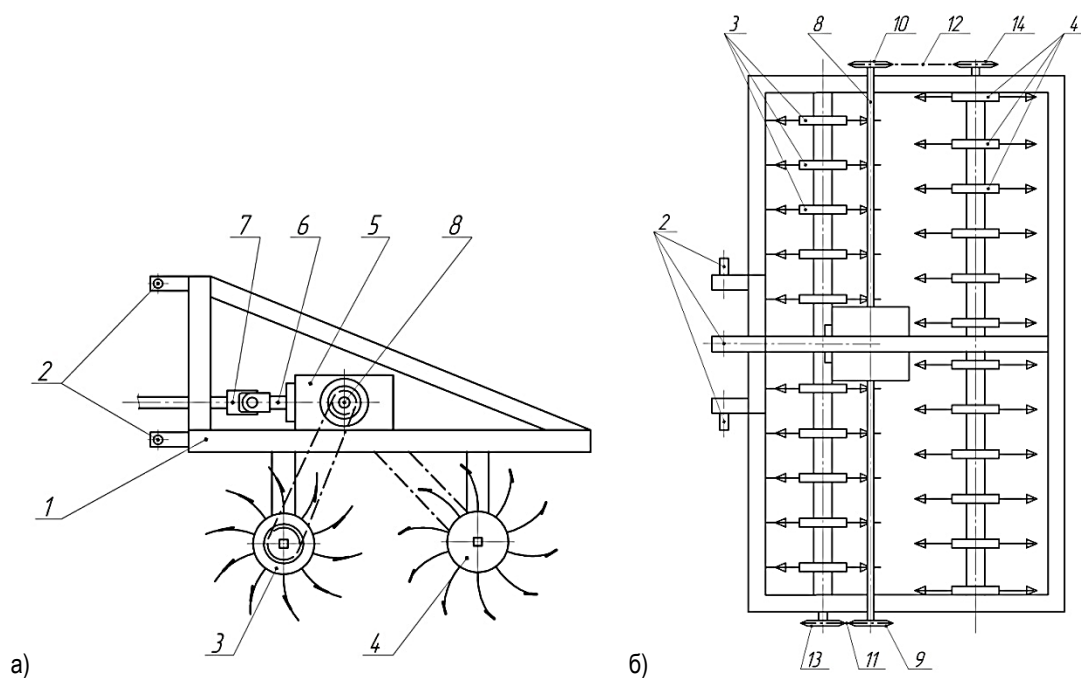


Рис. 1. Тягово-приводное почвообрабатывающее орудие:
 а – вид слева; б – вид сверху; 1 – рама; 2 – навесное устройство; 3, 4 – игольчатые диски;
 5 – конический редуктор; 6 – входной вал; 7 – карданный вал; 8 – выходной вал;
 9, 10 – сменные звездочки; 11, 12 – цепь; 13, 14 – сменные звездочки

В касательных плоскостях на выпуклой стороне игл 1 (рис. 2) рабочих органов переднего ряда закреплены рыхлительно-несущие элементы 2 в форме равнобедренного треугольника, на иглах 3 рабочих органов заднего ряда закреплены рыхлительные элементы 4, также в форме равнобедренного треугольника вершиной к носку игл 3. Тягово-приводное почвообрабатывающее орудие работает следующим образом. Перед началом движения агрегата, в транспортном положении орудия, включается вал механизма отбора мощности трактора, от которого передается крутящий момент на передний и задний валы с ротационными рабочими органами – игольчатыми дисками.

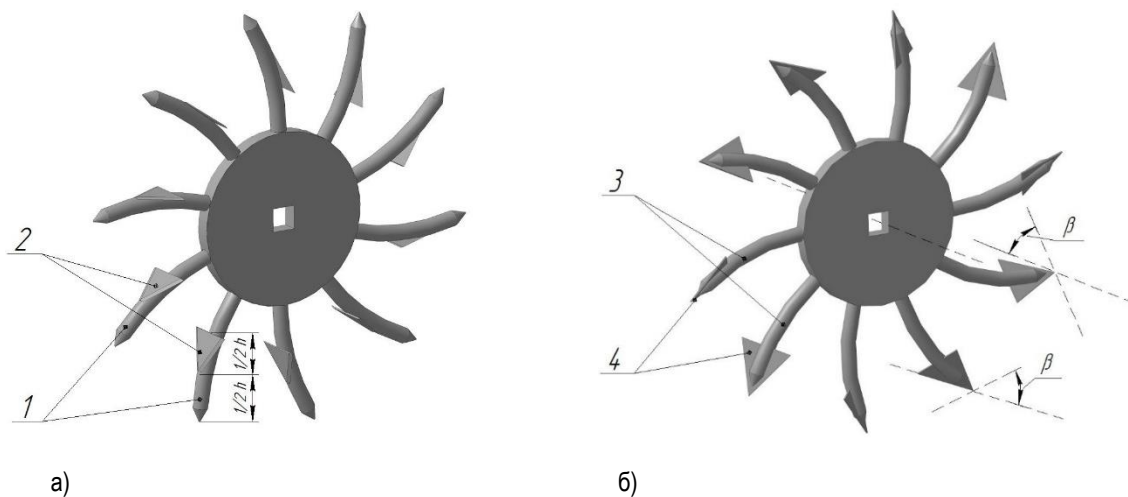


Рис. 2. Ротационные рабочие органы:
 а – переднего ряда; б – заднего ряда; 1, 3 – иглы; 2, 4 – рыхлительно-несущие элементы

Далее, орудие переводится в рабочее положение и игольчатые диски первого ряда с рыхлительно-несущими элементами заглубляются в почву, выполняя полосовую обработку почвы фронтальным рыхлением отрывом, а игольчатые диски второго ряда с рыхлительными элементами в форме равнобедренного треугольника рыхлят почву деформацией растяжения в смежных необработанных полосах воздействием от линии их симметрии в противоположные стороны к разрыхленным полосам. При этом окружная скорость приводных ротационных рабочих органов превышает на 5...15% теоретическую скорость движения трактора на выбранной передаче, что создает реакции, направленные в сторону движения агрегата. Однако для обеспечения качественного и наименее энергоемкого рыхления почвы растяжением с отрывом необходимо обосновать оптимальную форму игл ротационных рабочих органов тягово-приводного почвообрабатывающего орудия.

Результаты исследований. От формы иглы зависит направление равнодействующего вектора сопротивления деформации почвы. Прямая игла при внедрении в почву деформирует ее не только торцевой частью, но и фронтальной, создавая повышенное сопротивление внедрению и существенную выталкивающую составляющую равнодействующего вектора сопротивления деформации почвы [8].

Наиболее выгодной формой иглы, является такая форма, которая бы обеспечивала минимальное сопротивление заглублению иглы в почву, а равнодействующий вектор сопротивления деформации почвы иглой имел бы минимальную величину вертикальной составляющей, т.е. все сопротивление почвы было направлено на создание толкающего усилия. Для этого форма иглы должна обеспечивать заглубление всей ее рабочей части через одну точку встречи иглы с поверхностью поля.

Чтобы описать необходимую форму иглы, обозначим тремя точками А, В и С начало рабочего участка иглы, его середину и конец соответственно (рис. 3).

Игла диска начинает работать в момент ее встречи с поверхностью поля, т.е. когда точка А, двигаясь по трохоиде, встречается с поверхностью поля. При этом рабочая часть иглы занимает положение 1 и располагается в точках А, В и С. Далее игла заглубляется на половину длины своей рабочей части и занимает положение 2, располагаясь в точках А', В' и С'. Для обеспечения условия заглубления всей рабочей части иглы через одну точку, точка В' середины иглы должна совпадать с положением точки А встречи иглы с поверхностью поля. Далее заглубление продолжается до положения 3, когда вся рабочая часть иглы заглублена и располагается в точках А'', В'' и С''. В этот момент точка С'' конца иглы должна совпадать с положением точки А встречи иглы с поверхностью поля. Таким образом необходимая кривизна иглы будет обеспечена, если координаты точек А, В' и С'' будут одинаковы, т.е. будет выполняться условие $A \equiv B' \equiv C''$.

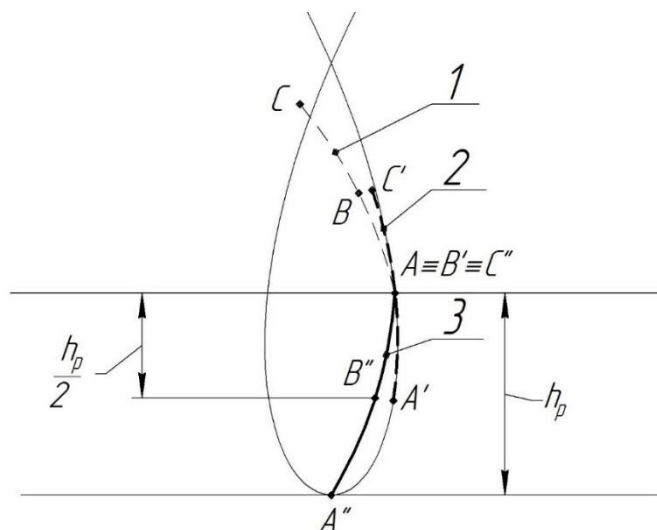


Рис. 3. К определению оптимальной формы иглы

В системе декартовых координат относительно мгновенного центра скоростей O (рис. 4) координаты точек A , B и C в начальный момент времени ($\varphi=0$) могут быть определены исходя из уравнения циклоиды в параметрической форме, следующим образом:

$$\begin{aligned} A & \begin{cases} X_A = R_y \cdot \varphi - R_A \cdot \sin \varphi \\ Y_A = R_y - R_A \cdot \cos \varphi \end{cases}, \\ B & \begin{cases} X_B = R_y \cdot (\varphi - \beta) - R_B \cdot \sin (\varphi - \beta) \\ Y_B = R_y - R_B \cdot \cos (\varphi - \beta) \end{cases}, \\ C & \begin{cases} X_C = R_y \cdot (\varphi - \gamma) - R_C \cdot \sin (\varphi - \gamma) \\ Y_C = R_y - R_C \cdot \cos (\varphi - \gamma) \end{cases}, \end{aligned} \quad (1)$$

где R_y – условный радиус качения диска (расстояние между мгновенным центром скоростей O и осью вращения диска), мм;

R_A, R_B, R_C – радиусы расположения точек A , B и C относительно оси вращения диска, мм;

φ – угол поворота диска, град;

β – угол смещения точки B относительно точки A , град;

γ – угол смещения точки C относительно точки A , град.

Для того чтобы описать необходимую кривизну иглы, необходимо определить параметры R_A, R_B, R_C и углы β и γ .

На рисунке 4 видно, что $R_A = R_d, R_B = R_d - h/2, R_C = R_d - h$.

Для определения углов β и γ найдем координаты точек A', B', C' и A'', B'', C'' .

Как упоминалось ранее, необходимая кривизна иглы будет обеспечена, если координаты точек A, B' и C'' будут одинаковы, т.е. будет выполняться условие $A \equiv B' \equiv C''$.

Тогда, в системе декартовых координат относительно мгновенного центра скоростей O (рис. 4) координаты точек A, B' и C'' могут быть определены следующим образом:

$$\begin{aligned} A & \begin{cases} X_A = R_y \cdot \varphi_1 - R_A \cdot \sin \varphi_1 \\ Y_A = R_y - R_A \cdot \cos \varphi_1 \end{cases}, \\ B' & \begin{cases} X_{B'} = R_y \cdot (\varphi_2 - \beta) - R_B \cdot \sin (\varphi_2 - \beta) \\ Y_{B'} = R_y - R_B \cdot \cos (\varphi_2 - \beta) \end{cases}, \\ C'' & \begin{cases} X_{C''} = R_y \cdot (\varphi_3 - \gamma) - R_C \cdot \sin (\varphi_3 - \gamma) \\ Y_{C''} = R_y - R_C \cdot \cos (\varphi_3 - \gamma) \end{cases}. \end{aligned} \quad (2)$$

На рисунке 4 видно, что работа иглы начинается в момент контакта ее с поверхностью почвы, в плоскости которой расположена ось X выбранной системы координат, т.е. координата Y в данной точке равна нулю.

Приравняем каждую координату Y точек A, B' и C'' к нулю и выразим углы β и γ .

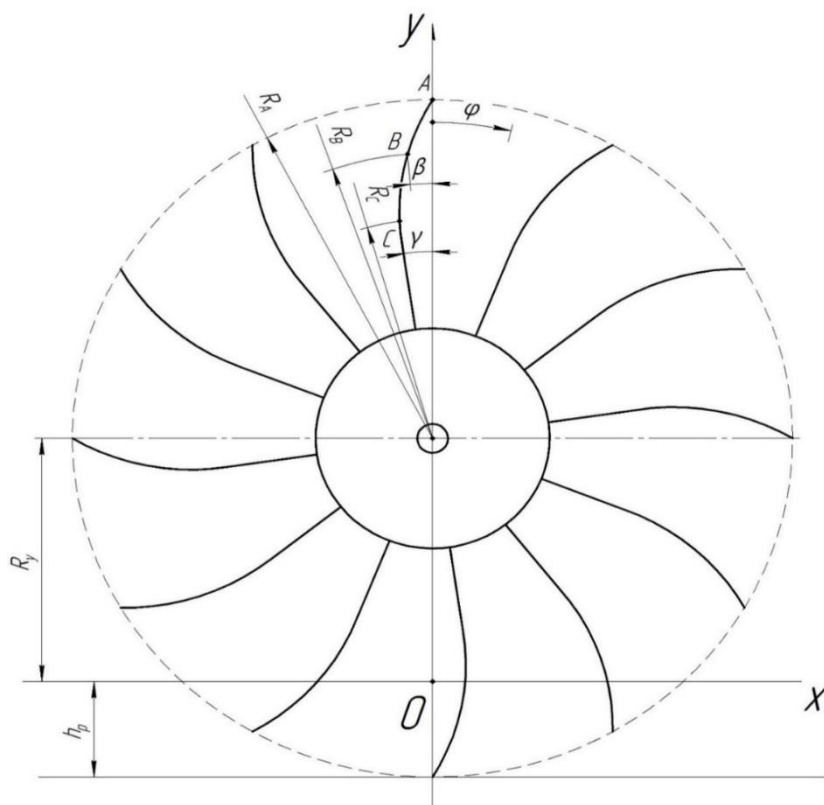


Рис. 4. Схема к определению параметров формы иглы

Для точки А будем иметь следующее:

$$R_y - R_A \cdot \cos \varphi_1 = 0; \quad (3)$$

$$\varphi_1 = \arccos \frac{R_y}{R_A}; \quad (4)$$

для точки В' будем иметь следующее:

$$R_y - R_B \cdot \cos (\varphi_2 - \beta) = 0; \quad (5)$$

$$\beta = \varphi_2 - \arccos \frac{R_y}{R_B}; \quad (6)$$

для точки С'' будем иметь следующее:

$$R_y - R_C \cdot \cos (\varphi_3 - \gamma) = 0; \quad (7)$$

$$\gamma = \varphi_3 - \arccos \frac{R_y}{R_C}. \quad (8)$$

Определим значения углов φ_2 и φ_3 , которые определяют положения иглы в моменты времени, когда точка А располагается в почве на глубине $h/2$ и h соответственно. Координаты Y точки А в моменты времени значения углового параметра φ_2 и φ_3 будут равны $Y(A') = h/2$ и $Y(A'') = h$ соответственно. Тогда координаты точек А' и А'' можно представить в виде:

$$A' \begin{cases} X_{A'} = R_y \cdot \varphi_2 - R_A \cdot \sin \varphi_2 \\ Y_{A'} = R_y - R_A \cdot \cos \varphi_2 = -h/2 \end{cases}; \quad (9)$$

$$A'' \begin{cases} X_{A''} = R_y \cdot \varphi_3 - R_A \cdot \sin \varphi_3 \\ Y_{A''} = R_y - R_A \cdot \cos \varphi_3 = -h \end{cases}. \quad (10)$$

Выразим углы φ_2 и φ_3 из зависимостей (18) и (19):

$$\varphi_2 = \arccos \frac{2R_y - h}{2R_A}; \quad (11)$$

$$\varphi_3 = \arccos \frac{R_y - h}{R_A}. \quad (12)$$

Тогда, с учетом (11) и (12), зависимости (6) и (7) можно записать следующим образом:

$$\beta = \arccos \frac{2R_y - h}{2R_A} - \arccos \frac{R_y}{R_B}; \quad (13)$$

$$\gamma = \arccos \frac{R_y - h}{R_A} - \arccos \frac{R_y}{R_C}. \quad (14)$$

Если учесть, что $R_A = R_d$, $R_B = R_d - h/2$, $R_C = R_d - h$, $R_y = R_d - h$, то будем иметь следующие зависимости:

$$\beta = \arccos \frac{2R_d - 3h}{2R_d} - \arccos \frac{2R_d - 2h}{2R_d - h}; \quad (15)$$

$$\gamma = \arccos \frac{R_d - 2h}{R_d} - \arccos \frac{R_d - h}{R_d - h} = \arccos \frac{R_d - 2h}{R_d}. \quad (16)$$

Для определения кривизны рабочей части иглы, которая повторяет дугу, проведенную через три точки А, В и С, найдем сначала положение центра кривизны.

Формула для определения положения центра кривизны $E(X_E; Y_E)$ определяется известной зависимостью [9], определяющей его координаты:

$$X_E = \frac{k_a k_b (Y_A - Y_C) + k_b (X_A + X_B) - k_a (X_C + X_B)}{2(k_b - k_a)}; \quad (17)$$

$$Y_E = -\frac{1}{k_a} \left(X_E - \frac{X_A + X_B}{2} \right) + \frac{Y_A + Y_B}{2}, \quad (18)$$

где k_a и k_b – коэффициенты наклона линий, проходящих через пары точек А и В, и В и С соответственно.

Коэффициенты k_a и k_b определяются по следующим зависимостям:

$$k_a = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; \quad (19)$$

$$k_b = \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}. \quad (20)$$

При определении координат точек примем начальные условия $\varphi = 0$ и соотношения параметров $R_A = R_d$, $R_B = R_d - h/2$, $R_C = R_d - h$, $R_y = R_d - h$.

Тогда координаты точек А, В и С определяются следующим образом:

$$\begin{array}{l} A \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A = -h \end{cases}; \\ B \begin{cases} X_B = -(R_d - h) \cdot \beta + (R_d - h/2) \cdot \sin \beta, \\ Y_B = R_d - h - (R_d - h/2) \cdot \cos \beta \end{cases}; \\ C \begin{cases} X_C = -(R_d - h) \cdot \gamma + (R_d - h) \cdot \sin \gamma \\ Y_C = R_d - h - (R_d - h) \cdot \cos \gamma \end{cases}. \end{array} \quad (21)$$

Для определения радиуса кривизны рабочего участка иглы определим расстояние между центром дуги окружности Е, координаты которого определены формулами (17) и (18), и одной из точек на окружности, например, точкой А, заданной координатами по формуле (21).

Известно, что расстояние между точками, заданными координатами в декартовой системе координат, определяется следующей формулой:

$$|AE| = \sqrt{(X_E - X_A)^2 + (Y_E - Y_A)^2}. \quad (22)$$

Подставив координаты точек А и Е в формулу (22), получим искомый радиус кривизны рабочей части иглы диска:

$$R_{ABC} = \sqrt{\left(\frac{k_a k_b (Y_A - Y_C) + k_b (X_A + X_B) - k_a (X_C + X_B)}{2(k_b - k_a)} \right)^2 + \left(-\frac{1}{k_a} \left(X_E - \frac{X_A + X_B}{2} \right) + \frac{Y_A + Y_B}{2} - Y_A \right)^2}. \quad (23)$$

Дальнейшая подстановка символьных выражений координат точек в выражение (23) не целесообразна, так как существенно увеличивает размеры итоговой формулы. Однако выражение

(23) легко просчитывается в программе Mathcad при задании значений $R_d = 0,275$ м и $h_p = 0,04; 0,06$ и $0,08$ м. Результаты произведенного расчета представлены в виде графика, где в качестве аргумента выбрана глубина рыхления почвы в миллиметрах (рис. 5).

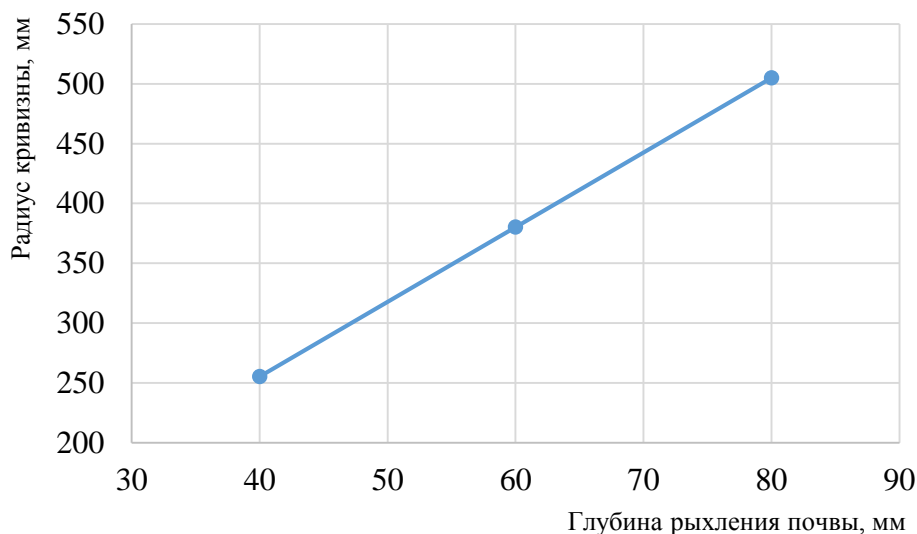


Рис. 5. Зависимость оптимального радиуса кривизны рабочей части иглы ротационного рабочего органа от глубины рыхления почвы

Таким образом, выражение (23) позволяет определить оптимальный радиус кривизны рабочей части иглы, который зависит от диаметра диска и глубины рыхления почвы.

Заключение. Применение предлагаемого тягово-приводного орудия с обоснованной формой игл ротационных рабочих органов позволит обеспечить рыхление почвы растяжением с отрывом и снизить тяговое сопротивление орудия за счет передачи основной доли мощности, потребляемой орудием, через вал механизма отбора мощности трактора на приводные ротационные рабочие органы, которые в свою очередь создают толкающее усилие. Применение предлагаемого тягово-приводного орудия позволит в более ранние сроки проводить ранневесеннюю обработку почвы, сохранить большее количество продуктивной влаги и обеспечить повышение урожайности возделываемых культур в засушливых условиях среднего Поволжья.

Библиографический список

1. Чаткин, М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов с винтовыми элементами : монография / М. Н. Чаткин. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2008. – 315 с.
2. Савельев, Ю. А. Снижение потерь почвенной влаги на испарение / Ю. А. Савельев, О. Н. Кухарев, Н. П. Ларюшин [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 42-47.
3. Савельев, Ю. А. Теоретическое исследование водного баланса почвы и процесса испарения почвенной влаги / Ю. А. Савельев, Ю. М. Добрынин, П. А. Ишкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 1. – С. 23-28.
4. Мусин, Р. М. Повышение эффективности культиваторных агрегатов с двигателями-рыхлителями : монография / Р. М. Мусин, Р. Р. Мингалимов. – Самара, 2012. – 156 с.
5. Мингалимов, Р. Р. Исследования процесса образования и использования дополнительной движущей силы машинно-тракторного агрегата в результате применения двигателей-рыхлителей / Р. Р. Мингалимов, Р. М. Мусин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1 (29). – С. 126-132.
6. Пат. 2538810 Российская Федерация, МПК А 01 В 33/02. Орудие для поверхностной обработки почвы / Ишкин П. А., Савельев Ю. А., Петров А. М., Петров М. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2013146320/13 ; заявл. 16.10.2013 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 7 с.
7. Савельев, Ю. А. Орудие для ранневесенней обработки почвы / Ю. А. Савельев, А. М. Петров, П. А. Ишкин, М. А. Петров // Сельский механизатор. – 2014. – № 10. – С. 6.

8. Петров, М. А. Повышение эффективности тягово-приводного почвообрабатывающего агрегата / М. А. Петров, Ю. А. Савельев, П. А. Ишкин // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2018. – №3 (43). – С.19-24.
9. Корн, Г. Определения, теоремы, формулы : справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн. – М. : Книга по Требованию, 2014. – 832 с.

References

1. Chatkin, M. N. (2008). *Kinematika i dinamika rotacionnikh pochvoobrabatvaiushchikh rabochkih organov s vintovimi elementami [Kinematics and dynamics of rotary tillers working bodies with screw elements]*. Saransk: Publishing House of the Mordovskiy University [in Russian].
2. Saveliev, Yu. A., Kukharev, O. N., Laryushin, N. P., Ishkin, P. A., & Dobrynin, Yu. M. (2018). Snizhenie poter pochvennoi vlagi na isparenie [Decrease in soil moisture losses due to evaporation]. *Seliskohoziaistvenniie mashini i tekhnologii – Agricultural Machinery and Technologies*, 12, 1, 42-47 [in Russian].
3. Saveliev, Yu. A., Dobrynin, Yu. M., & Ishkin, P. A. (2017). Teoreticheskoe issledovanie vodnogo balansa pochvi i processa ispareniia pochvennoi vlagi [Theoretical study of the water balance of the soil and the process of evaporation of soil moisture]. *Seliskohoziaistvenniie mashini i tekhnologii – Agricultural Machinery and Technologies*, 1, 23-28 [in Russian].
4. Musin, R. M., & Mingalimov, R. R. (2012). *Povishenie effektivnosti kultivatornikh agregatov s dvizhiteliami-rikhliteliami [Improved cultivator units with propulsion-rippers]*. Samara [in Russian].
5. Mingalimov, R. R., & Musin R. M. (2015). Issledovaniia processa obrazovaniia i ispolzovaniia dopolnitelnoi dvizhushchei sili mashinno-traktornogo agregata v rezulitate primeneniia dvizhitelei-ryhlitelei [Study of the formation and use of an additional driving force of machine-tractor unit as a result of the use of propulsion-rippers]. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii – Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 1 (29), 126-132 [in Russian].
6. Ishkin P. A., Savelyev Yu. A., Petrov A. M., & Petrov M. A. (2015). Orudie dlia poverhnostnoi obrabotki pochvi [An instrument for surface tillage]. *Patent 2538810, Russian Federation, IPC A 01 B 33/02, 2013146320/13* [in Russian].
7. Saveliev, Yu. A., Petrov, A. M., Ishkin P. A., & Petrov M. A. (2014). Orudie dlia rannevesennei obrabotki pochvi [A tool for early spring tillage]. *Seliskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator*, 10, 6 [in Russian].
8. Petrov, M. A., Saveliev, Yu. A., & Ishkin, P. A. (2018). Povishenie effektivnosti tiagovo-privodnogo pochvoobrabatvaiushchego agregata [Improving the efficiency of traction-drive tillage machine]. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii – Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 3 (43), 19-24 [in Russian].
9. Korn, G. (2014). *Opredeleniia, teoremi, formuli [Definitions, theorems, formulas]*. Moscow: Kniga po Trebovaniyu [in Russian].