

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ОТБРАСЫВАНИЯ ПОЧВЫ МНОГОГРАННЫМ ДИСКОМ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА

Кривоногов А.Н., соискатель, тел. 8(8422) 55-95-95,
anton@inilaw.com

Курдюмов В.И., доктор технических наук, профессор,
тел.: 8(8422) 55-95-95, vikur-73@yandex.ru

Зыкин Е.С., доктор технических наук, профессор,
тел.: 8(8422) 55-95-95, evg-zykin@yandex.ru

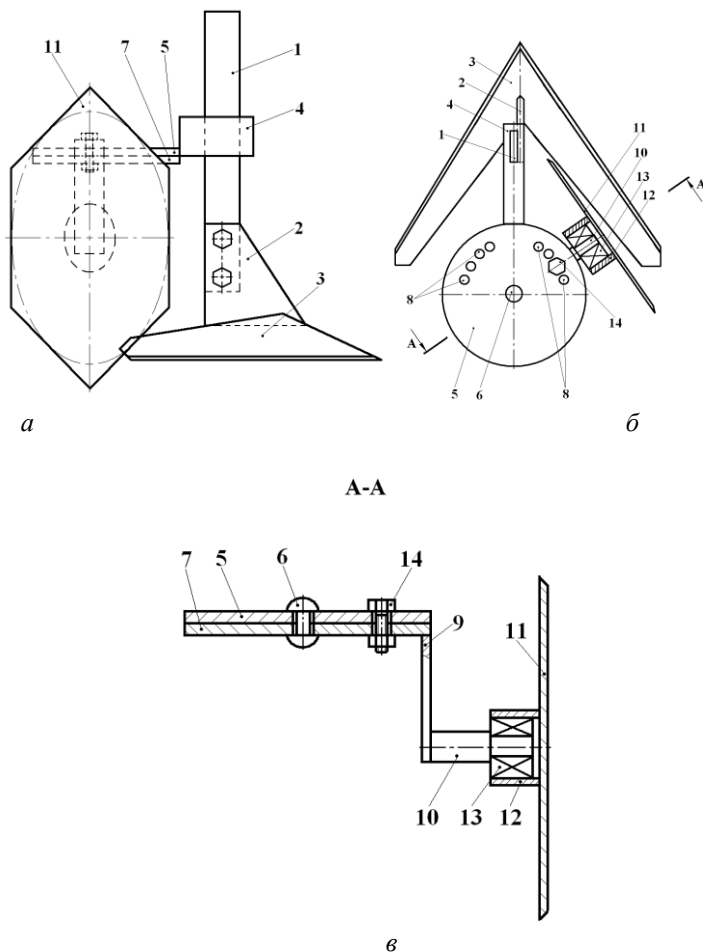
Зыкина С.А., кандидат технических наук, доцент,
тел. 8(8422) 55-95-95, zykinasvetlana77@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: технология, способ, уход за посевами, междурядная обработка, культиватор, многогранный диск

Для повышения качества ухода за посевами пропашных культур предложен рабочий орган культиватора с многогранным плоским диском, применение которого позволяет не только уменьшить травмирование корневой системы культурных растений, но и повысить качество технологической операции. Выявлено, что на дальность отбрасывания почвы многогранным диском значительное влияние оказывают скорость перемещения культиватора, угол атаки многогранного диска и физико-механические свойства почвы.

Введение. Процесс ухода за посевами – это комплекс агротехнических мероприятий, направленных на улучшение условий для развития культурных растений, а также уничтожение сорняков [1]. Уход за посевами пропашных культур по обычной технологии предполагает до трёх механизированных обработок междурядий [2, 3, 4, 5, 6, 7].



а – вид сбоку; б – вид сверху; в - сечение рабочего органа культиватора по линии А-А; 1 – стойка; 2 – ножевидная стойка; 3 – стрелчатая лапа; 4 – кронштейн; 5 – регулировочный диск; 6 – ось; 7 – дополнительный диск; 8 – отверстия; 9 – направляющий кронштейн; 10 – полуось; 11 – многогранный диск; 12 – цилиндрический корпус; 13 – подшипник; 14 – болт

Рисунок 1 – Рабочий орган культиватора

С целью исключения травмирования корневой системы

культурных растений и их надземной массы, рабочие органы культиваторов располагают на определенном расстоянии от ряда растений. Вследствие этого, после междурядной обработки по обе стороны от продольной оси ряда остается необработанная полоса – защитная зона. Ширину защитной зоны с каждой последующей обработкой увеличивают. Соответственно, увеличивается и площадь не обработанной почвы. Ширина защитной зоны также зависит от вида возделываемой культуры, стадии развития растений и глубины рыхления почвы.

Объекты и методы исследований. Для повышения качества выполнения механизированного ухода за посевами пропашных культур разработан и запатентован рабочий орган культиватора с многогранным плоским диском. Данные рабочие органы устанавливают попарно на каждый грядиль пропашного культиватора в шахматном порядке так, чтобы плоскость каждого многогранного диска была направлена в сторону ряда растений (рисунок 1).

Результаты исследований. Вращающиеся многогранные диски отбрасывают слой почвы определенной толщиной в сторону линии посева семян по параболической траектории (рисунок 2).

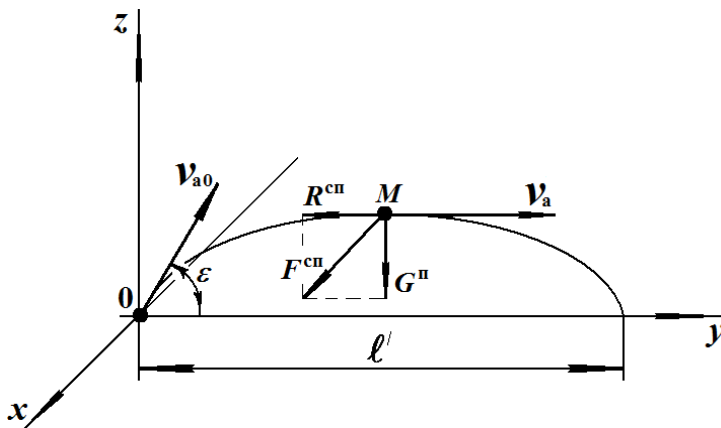


Рисунок 2 – Определение дальности отбрасывания почвы

Для каждой перемещающейся в воздухе частицы почвы, помимо силы тяжести G_n , направленной вертикально вниз, действует сила

сопротивления воздуха $R_{\text{сп}}$. Эта сила противоположна скорости v_a перемещения частицы и направлена по касательной к траектории движения, в сторону, противоположную направлению её скорости [1].

Из рисунка 2 следует, что равнодействующая сила

$$F^{\text{сп}} = G^{\text{п}} + R^{\text{сп}}, \quad (1)$$

где $G^{\text{п}} = mg$ – сила тяжести частицы отброшенной почвы, Н; $R^{\text{сп}} = k m a$ – сила сопротивления воздуха, Н; m – масса отброшенной почвы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; k – постоянный коэффициент пропорциональности; a – ускорение отброшенной почвы, м/с^2 ; v_{a0} – начальная скорость перемещения частицы почвы, м/с [1].

Для определения $F^{\text{сп}}$ и, соответственно, дальности полета отброшенной почвы l' , м, необходимо точку отрыва частицы почвы от плоскости многогранного диска совместить с прямоугольной декартовой системой, а ось Oz расположить перпендикулярно поверхности поля (рисунок 2). В этом случае начальная скорость v_{a0} , м/с , окажется в точке 0 плоскости zOy , а координаты x , y , z и $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ частицы почвы будут иметь положительное значение в момент времени t .

Спроецировав равнодействующую силу $F^{\text{сп}}$ на оси координат, получим:

$$\begin{cases} F_x^{\text{сп}} = -kmv_x = -k m \dot{x}, \\ F_y^{\text{сп}} = -kmv_y = -k m \dot{y}, \\ F_z^{\text{сп}} = -mg - kmv_z = -mg - k m \dot{z}. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, при нулевых начальных условиях перемещения частицы почвы $t = 0$, $x = 0$, $y = 0$, проекции скоростей будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} v_x = \dot{x} = 0, \\ v_y = \dot{y} = v_{a0} \cos \varepsilon, \\ v_z = \dot{z} = v_{a0} \sin \varepsilon. \end{cases} \quad (3)$$

где ε – угол между поверхностью поля и направлением начальной скорости v_{a0} , град.

Дифференциальные уравнения движения частиц почвы:

$$\begin{cases} m\dot{x} = -km\dot{x}, \\ m\dot{y} = -km\dot{y}, \\ m\dot{z} = -mg - km\dot{z}. \end{cases} \quad (4)$$

Далее, сократив на m и выполняя преобразования системы уравнений (4), получим:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -kv_x, \\ \frac{dv_y}{dt} = -kv_y, \\ \frac{dv_z}{dt} = -g \left(1 + \frac{kv_z}{g} \right). \end{cases} \quad (5)$$

Разделив переменные и, проинтегрировав каждое уравнение в отдельности, получим:

$$\begin{cases} \ln v_x = -k t + \ln C_1, \\ \ln v_y = -k t + \ln C_2, \\ \ln \left(1 + \frac{kv_z}{g} \right) = -k t + \ln C_3. \end{cases} \quad (6)$$

или

$$\begin{cases} v_x = C_1 e^{-k t}, \\ v_y = C_2 e^{-k t}, \\ v_z = -C_3 e^{-k t}, \end{cases} \quad (7)$$

где t – время перемещения почвы, с.

После подстановки в уравнения (7) из уравнений (3) начальных условий проекций скоростей v_x, v_y и v_z , получим значения произвольных постоянных величин:

$$\begin{cases} C_1 = 0, \\ C_2 = v_{a0} \cos \varepsilon, \\ C_3 = \frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon. \end{cases} \quad (8)$$

Подставив значения постоянных производных величин (8) в уравнения (7), и, заменив проекции скорости на оси координат, получим:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 0, \\ \frac{dy}{dt} = v_{a0} e^{-k t} \cos \varepsilon, \\ \frac{dz}{dt} = \left(\frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon \right) e^{-k t} - \frac{g}{k}. \end{cases} \quad (9)$$

Проинтегрировав уравнение (9), определим уравнения движения частиц почвы:

$$\begin{cases} x = C_4, \\ y = \frac{v_{a0} e^{-k t} \cos \varepsilon}{k} + C_5, \\ z = -\frac{\left(\frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon \right) e^{-k t}}{k} - \frac{g t}{k} + C_6. \end{cases} \quad (10)$$

Подставив в уравнения (10) начальные условия параметров x, y, z и выполнив соответствующие преобразования, получим уравнения для определения произвольных постоянных величин C_4, C_5 и C_6 :

$$\begin{cases} C_4 = 0, \\ C_5 = \frac{v_{a0} \cos \varepsilon}{k}, \\ C_6 = \frac{\left(\frac{g}{k} \right) + v_{a0} \sin \varepsilon}{k}. \end{cases} \quad (11)$$

Заменяя в уравнениях (11) значения C_4, C_5 и C_6 , определим уравнения движения частиц почвы, отброшенных многогранным диском:

$$\begin{cases} x = 0, \\ y = \frac{v_{a0} \cos \varepsilon}{k} (1 - e^{-k t}), \\ z = \frac{\left(\frac{g}{k}\right) + v_{a0} \sin \varepsilon}{k} (1 - e^{-k t}) - \frac{g t}{k}. \end{cases} \quad (12)$$

Учитывая, что почва, отброшенная многогранным диском, движется по параболической траектории, и постоянный коэффициент пропорциональности k стремится к нулю, то в определенный момент времени на почву действует только сила тяжести G^n .

Обозначив координаты частицы почвы x_1 , y_1 , z_1 и решив уравнения (12) по правилу Лопитала, получим:

$$\begin{aligned} y_1 &= v_{a0} \cos \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-k t}}{k} = v_{a0} \cos \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\frac{d}{dk}(1 - e^{-k t})}{\frac{dk}{dk}} = \\ &= v_{a0} \cos \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{t e^{-k t}}{1} = v_{a0} t \cos \varepsilon. \quad (17) \\ z_1 &= g \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\left(\frac{d^2}{dk^2}\right)(1 - e^{-k t} - k t)}{\frac{d^2 k^2}{d k^2}} + v_{a0} \sin \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-k t}}{k} = \\ &= g \lim_{k \rightarrow 0} \frac{-t^2 e^{-k t}}{2} + v_{a0} \sin \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{t e^{-k t}}{1} = -\frac{g t^2}{2} + v_{a0} t \sin \varepsilon. \quad (13) \end{aligned}$$

Таким образом, траектория полета частиц почвы будет характеризоваться уравнениями в координатной форме:

$$\begin{cases} y_1 = v_{a0} t \cos \varepsilon, \\ z_1 = v_{a0} t \sin \varepsilon - \frac{g t^2}{2}. \end{cases} \quad (14)$$

В дальнейшем, выделяя из уравнения (14) параметр t , и подставив его в выражение для определения координаты z_1 и, выполнив соответствующие преобразования, определим уравнение, характеризующую траекторию частиц почвы, отброшенных многогранным диском:

$$z_1 = y_1 \operatorname{tg} \varepsilon - \frac{g y_1^2}{2 v_{a0}^2 \cos^2 \varepsilon}. \quad (15)$$

Из уравнения (15) следует, что траекторией отбрасываемой почвы будет парабола, расположенная в плоскости zOy .

Учитывая, что $z = 0$, тогда

$$y_1 \operatorname{tg} \varepsilon - \frac{g y_1^2}{2 v_a^2 \cos^2 \varepsilon} = 0, \quad (16)$$

где y - горизонтальная дальность отбрасывания почвы многогранным диском:

$$y = l' = \frac{v_a^2 \sin 2\varepsilon}{g}. \quad (17)$$

Так как многогранный диск установлен к направлению движения под углом атаки α , то в направлении, перпендикулярном направлению движения пропашного культиватора, частицы почвы переместятся на расстояние

$$l = l' \cos \alpha = \frac{v_a^2 \sin 2\varepsilon \cdot \cos \alpha}{g}. \quad (18)$$

Заключение

Резюмируя приведенные выше расчеты и обоснования выявили, что на дальность отбрасывания почвы многогранным диском пропашного культиватора значительное влияние оказывают скорость перемещения культиватора, угол атаки многогранного диска и физико-механические свойства почвы.

Библиографический список:

1. Курдюмов В.И. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин. – Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. – 320 с.
2. Пат. 2464755 Российская Федерация, МПК А01В35/16, А01В35/18, А01В39/20. Рабочий орган культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2011145008/13; заявл. 07.11.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.
3. Экспериментальные исследования устройства для формирования гребней почвы / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов, В.В. Мартынов // Известия Международной академии

аграрного образования. – 2013. - № 17. – С. 63-67.

4. Пат. 2296445 Российская Федерация, МПК А01В29/04. Каток-гребнеобразователь / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2005100301/12; заявл. 11.01.2005; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 10.

5. Пат. 2255451 Российская Федерация, МПК А01В29/04. Прикатывающий каток-гребнеобразователь / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, Ф.Ф. Мурзаев; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2004103108/12; заявл. 03.02.2004; опубл. 10.07.2005, Бюл. № 19.

6. Zykin E. The study of the working body of a ridge seeder in laboratory settings / Zykin E., Albutov S., Lazutkina S. // E3S Web of Conferences 126, 00050 (2019). ICMTMTE 2019. – 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600050>

7. Zykin E. Theoretical and experimental substantiation of the design parameters for the working body of a row cultivator / Zykin E., Lazutkina S. // E3S Web of Conferences 126, 00051 (2019) ICMTMTE 2019. – 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600051>

DETERMINATION OF THE RANGE OF SOIL DISCARDING BY A MULTI-FACETED DISC OF A ROW CULTIVATOR

Krивоногов А.Н., Курдюмов В.И., Зыкин Е.С., Зыкина С.А.

Keywords: *technology, method, crop care, row-to-row processing, cultivator, multi-faceted disk*

To improve the quality of care for row crops, a cultivator's working body with a multi-faceted flat disk is proposed, the use of which allows not only to reduce injury to the root system of cultivated plants, but also to improve the quality of the technological operation. It has been revealed that the speed of movement of the cultivator, the angle of attack of the polyhedral disk, and the physical and mechanical properties of the soil significantly affect the range of soil discarding by the polyhedral disk.