

Хайлис Г., д-р техн. наук, проф. Пех П., канд. техн. наук, Толстушко Н., канд. техн. наук, Шевчук В., аспирант (УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого), Шевчук М. (УНУС)

К определению силы сопротивления почвы при ее обработке игольчатой бороной

В статье рассмотрено определение силы сопротивления почвы при ее обработке игольчатой бороной.

Ключевые слова: сила, движение, диск, игла, игольчатая борона, почва, ось, секция, центр, сопротивление, обработка.

Постановка проблемы. Для обработки почвы применяются игольчатые бороны. Эти рабочие органы исследованы рядом авторов [1, 2, 3, 4, 5, 6], однако вопросы определения движущей силы и сопротивления почвы выяснены недостаточно. Ввиду этого, исследование работы этих борон представляет значительный интерес.

Анализ последних исследований и публикаций. По работе игольчатых борон проведено много исследований [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], но силы, действующие на иглы борон при движении машины исследованы недостаточно; недостаточно также исследован характер изменения движущей силы.

Цель исследования. Определить закономерности изменения силы сопротивления почвы при ее обработке игольчатой бороной.

Результаты исследований. Рассматриваемая нами борона представляет собой устройство, совершающее качение по почве в продольно-вертикальной плоскости. В этой плоскости движутся диски с иглами, которые углубляются в почву и производят ее рыхление. Схема диска бороны с прямолинейными иглами представлена на рис. 1.

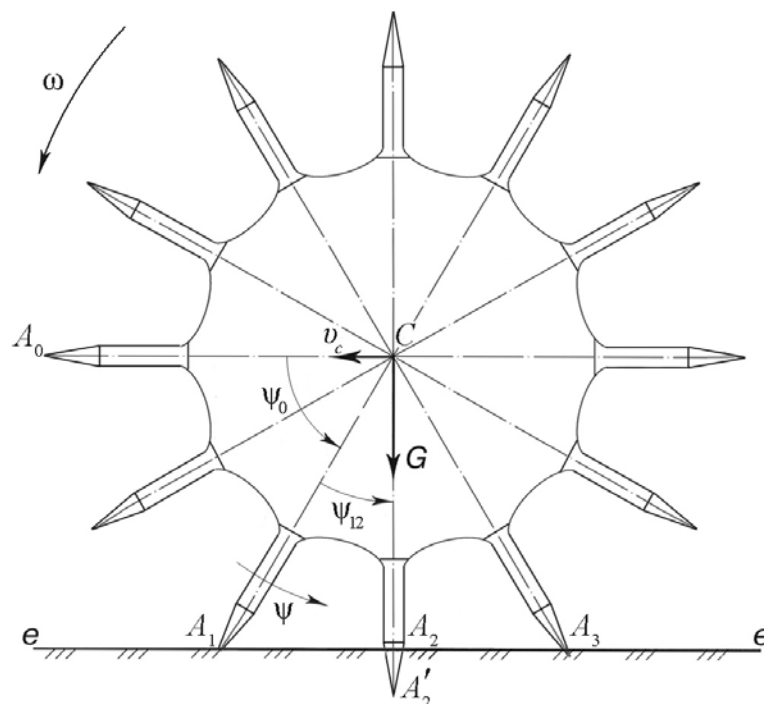


Рис. 1. Схема диска бороны с иглами при его движении влево и повороте

Каждая игла в нижнем положении значительно углубляется в почву. Это углубление зависит от состояния почвы, ее влажности и плотности, а также от давления бороны на почву. Еще влияет на это углубление угол между двумя соседними иглами на диске. Чем больше этот угол, тем больше сила давления конца каждой иглы на почву, и тем больше углубление иглы в почву. По агротехническим требованиям глубина иглы должна быть 6-8 см. Внешний диаметр диска с иглами у существующих машин находится в пределах от 290 до 310 мм. В среднем можно считать, что этот внешний диаметр диска с иглами равен около 300 мм. Число игл у диска, как правило, составляет 12, из чего следует, что угол между иглами на диске составляет $360^\circ/12$, т.е. 30° . Длина иглы составляет 70-80 мм, т.е. 7-8 см, что позволяет удовлетворить требования агротехники.

При таких параметрах диска с иглами углубление иглы в почву начинается при касании конца иглы A_1 поверхности почвы $e-e$ (рис. 1); в положении CA_2 игла заканчивает прокол почвы, а положении CA_3 игла выходит из почвы. Диск с иглами давит на почву с силой G , приложенной в центре C диска по вертикали, а движение диска с иглами по горизонтали обеспечивается благодаря действию горизонтально силы P_∂ , давящей на центр C диска с иглами по горизонтали. Центр C движется со скоростью v_c , являющейся скоростью движения агрегата.

Ранее проведенными теоретическими исследованиями [6, с. 25-29] выведена следующая зависимость силы P_∂ от влияющих факторов:

$$P_\partial \approx \kappa \frac{h_u}{\psi_{12}} \psi \cos(\psi_0 + \psi), \quad (1)$$

где κ – коэффициент, зависящий от сопротивления почвы внедрению в нее иглы, конусности иглы и твердости почвы, определяемой опытным путем, Н/м;

ψ – угол поворота иглы в сторону ее вращения (ψ – переменная величина);

ψ_{12} – угол A_1CA_2' (т.е. до вертикального положения иглы);

h_u – глубина A_2A_2' погружения иглы в почву (в вертикальном положении);

ψ_0 – угол A_0CA_1 , т.е. угол, характеризующий положение иглы CA_1 в момент соприкосновения ее конца A_1 с поверхностью $e-e$ почвы.

Величины h_u , ψ_0 и ψ_{12} являются постоянными при одном проколе почвы, а во время прокола меняется лишь угол ψ от 0 при соприкосновении конца A_1 иглы с почвой до ψ_{12} при окончании прокола почвы. Таким образом, сила P_∂ является функцией угла ψ . Для упрощения записи обозначим произведение $\kappa \frac{h_u}{\psi_{12}}$ через B . Тогда

$$P_\partial \approx B\psi \cos(\psi_0 + \psi), \quad (2)$$

где $B = \kappa \frac{h_u}{\psi_{12}}$.

Для определения максимального значения силы P_∂ при прокалывании почвы иглой бороны воспользуемся вышеприведенной формулой (2) и определим первую и вторую производные данной функции при условии, что переменной величиной является угол ψ , а величины B и ψ_0 постоянны.

Первая производная будет:

$$\frac{dP_\partial}{d\psi} \approx B \left\{ \frac{d\psi}{d\psi} \cos(\psi_0 + \psi) + \psi [-\sin(\psi_0 + \psi)] \right\} = B [\cos(\psi_0 + \psi) - \psi \sin(\psi_0 + \psi)] \quad (4)$$

Вторая производная будет:

$$\begin{aligned} \frac{d^2P_\partial}{d\psi^2} &\approx B \{-\sin(\psi_0 + \psi) - \sin(\psi_0 + \psi) - \psi \cos(\psi_0 + \psi)\} = \\ &= -B [2\sin(\psi_0 + \psi) + \psi \cos(\psi_0 + \psi)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Вторая производная получилась со знаком «-». Ввиду этого можно приравнять первую производную нулю и решением полученного таким образом уравнения относительно ψ находим угол ψ , при котором сила P_∂ достигает максимального значения. Тогда в соответствии с равенством (4), приравненным нулю, получаем уравнение:

$$B [\cos(\psi_0 + \psi) - \psi \sin(\psi_0 + \psi)] = 0, \quad (6)$$

откуда

$$\operatorname{ctg}(\psi_0 + \psi) - \psi = 0. \quad (7)$$

Так выглядит уравнение, где неизвестным является угол ψ , соответствующий максимальному значению силы $P_{\partial \max}$. Обозначим этот угол ψ_p . Он находится решением следующего уравнения, вытекающего из равенства (7):

$$\operatorname{ctg}(\psi_0 + \psi_p) - \psi_p = 0. \quad (8)$$

где угол ψ_p перед знаком равенства будет в радианах.

Решить это уравнение точно трудно. Решим его приближенно путем нахождения таких значений угла ψ_p , при которых левая часть равенства (8) равна нулю или хотя бы близка к нулю. Для этого составим несколько вариантов значений угла ψ_p , при которых в одних случаях левая часть равенства (8) близка к нулю, но положительная, а в других случаях левая часть равенства (8) также близка к нулю, но отрицательна. Из этих двух случаев находим угол ψ_p , при котором левая часть равенства (8) весьма близка к нулю или равна нулю (данный порядок вычислений является одним из вариантов метода последовательных приближений).

Покажем это на примере, когда угол $\psi_0 = 60^\circ$, а угол ψ_p составляет 10° , 15° , 20° и 25° , т.е. когда имеем четыре варианта уравнений (8); тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{ctg}(60^\circ + 10^\circ) - \frac{10}{57,2} &\approx 0,36 - 0,18 = 0,18; \\ \operatorname{ctg}(60^\circ + 15^\circ) - \frac{15}{57,2} &\approx 0,27 - 0,26 = 0,01; \\ \operatorname{ctg}(60^\circ + 20^\circ) - \frac{20}{57,2} &\approx 0,18 - 0,35 = -0,17; \\ \operatorname{ctg}(60^\circ + 25^\circ) - \frac{25}{57,2} &\approx 0,09 - 0,43 = -0,34. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В этих равенствах цифра 57,2 представляет собой приближенное значение числа градусов в одном радиане.

Из равенства (9) видно, что с точностью до 0,01 в равенстве (8) угол ψ_p равен 15° . Если такая точность расчетов для нашего случая не достаточна, то составим еще два равенства, аналогичных второму равенству (9), но при углах ψ_p равных $15^\circ 30'$ и 16° :

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{ctg}(60^\circ + 15^\circ 30') - \frac{15,5}{57,2} &\approx 0,26 - 0,27 = -0,01; \\ \operatorname{ctg}(60^\circ + 16^\circ) - \frac{16}{57,2} &\approx 0,25 - 0,28 = -0,03. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Из приведенных равенств (9) и (10) самыми близкими друг к другу является второе равенство (9) и первое равенство (10). Из этих двух равенств следует, что

$\operatorname{ctg}(60^\circ + 15^\circ) - \frac{15}{57,2}$ больше нуля на 0,01, а $\operatorname{ctg}(60^\circ + 15^\circ 30') - \frac{15,5}{57,2}$ меньше нуля на 0,01.

Из-за таких малых расхождений между этими двумя величинами будем считать, что в рассматриваемом случае угол ψ_p приближенно равен 15° . В этом случае получим, что

$\psi_p \approx \frac{\psi_{12}}{2}$, где ψ_{12} , как уже указывалось, является углом A_1CA_2' , равным $\frac{\pi}{2} - \psi_0$. Таким

образом находим, что

$$\psi_p \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \psi_0 \right), \quad (11)$$

а

$$\psi_0 + \psi_p \approx \psi_0 + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \psi_0 \right) \approx \frac{\pi}{4} + \frac{\psi_0}{2}. \quad (11')$$

Так как максимальное значение силы P_∂ , которую обозначим $P_{\partial \max}$, будет при угле ψ , равном ψ_p , то для получения зависимости этой силы от влияющих факторов подставим в формулу (2) значения углов ψ_p и ψ_0 в соответствии с равенствами (11) и (11'); тогда получим:

$$P_{\partial \max} \approx \frac{1}{2} B \left(\frac{\pi}{2} - \psi_0 \right) \cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\psi_0}{2} \right). \quad (12)$$

где B определяется по формуле (3).

Выводы. Определено максимальное значение силы, необходимой для прокола почвы иглой игольчатой бороны при ее движении по полю. Сила эта P_∂ действует по горизонтали на центр C диска с иглами и в начале движения центра C , когда нижний конец очередной иглы только коснулся поверхности почвы и $\psi = 0$, сила эта по формуле (2) равна нулю. Затем по мере дальнейшего движения центра C сила эта возрастает, максимальное ее значение будет при таком повороте и углублении иглы, когда угол ψ_p ее поворота окажется равным $\sim \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \psi_0 \right)$, а сумма углов $\psi_0 + \psi_p$ равна $\sim \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\psi_0}{2} \right)$. При дальнейшем движении центра C диска сила P_∂ уменьшается и становится равной нулю, когда угол ψ становится равным ψ_{12} , т.е. когда игла становится в вертикальном положении.

Список литературы

1. Заика П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (частина 1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків. ОКО. – 2001. – 444 с.
2. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Изд. 3-е допол. И перераб. – М.: Колос, 1994. – 751 с.
3. Синееков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
4. Хайлис. Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин. – К.: Изд-во УСХА. 1992. – 235 с.

5. Кравчук В., Хайлис Г., Шевчук В. О качении дисков игольчатой бороны при перемещении по поверхности почвы // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 10. – С. 23-25.
6. Хайлис Г.А., Ковалев М.М., Толстушко Н.Н., Шевчук В.В. Анализ работы игл игольчатой бороны при их качении по почве. Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 5. – С. 25-29.
7. Мазитов Н. Теория реактивных рабочих органов почвообрабатывающих машин. – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2011. – 280 с.