

УДК 631.316.6 + 631.319.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОДОПУСТИМОЙ МИНИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КУЛЬТИВАТОРА С СЕПАРИРУЮЩИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

¹Анутов Р.М., ²Котельников В.Я., ³Козьявин А.А., ²Котельников А.В., ⁴Тищенко Д.Е.

¹Грязинский культиваторный завод, Грязи;

²Юго-Западный госуниверситет, Курск, e-mail: rotor9090@mail.ru;

³ККГСХА, Курск;

⁴ГКЗ, Грязи

Установлена предельно допустимая скорость культиватора, при которой достигается качественное уничтожение сорняков.

Ключевые слова: культиваторы, экологическая обработка почвы, сохранение влаги, энергии, времени и средств

DETERMINATION OF THE MAXIMUM ALLOWABLE MINIMUM SPEED CULTIVATOR WITH SEPARATING WORKING BODIES

¹Anutov R.M., ²Kotelnikov V.Y., ³Kozyavin A.A., ²Kotelnikov, A.V., ⁴Tishchenko D.E.

¹Gryazinsky cultivator plant, Gryazi;

²Southwestern State University, Kursk, e-mail: rotor9090@mail.ru;

³KKGSKHA, Kursk;

⁴SRC, Gryazi

Set a maximum allowable minimum speed of the cultivator, which yields high-quality weed control.

Keywords: cultivators, environmental soil moisture retention, energy, time and money

Поступательная скорость сепарирующих батарей культиваторов выше, чем скорость резания и рыхления почвы. Полученные нами параметры позволяют определить рациональный технологический режим работы орудий. На испытаниях было установлено, что при снижении поступательной скорости сепарирующей прутковой батареи поверхность поля становится волнистой, а при ее увеличении эта волнистость пропадает, поверхность обработанного поля становится выровненной и покрытой выброшенными сорняками, их проростками и более крупными частицами почвы. При этом сорняки, потеряв контакт с почвой, на солнце и от сухого ветра быстро засыхают. Теоретический анализ работы прутка позволяет установить рациональный режим обработки почвы и предельно допустимую минимальную поступательную скорость культиватора и окружную скорость сепарирующих рабочих органов, при которой создается выровненная поверхность поля.

Каждый прут и палец сепаратора движется по циклоидальной кривой. В точке максимального погружения прутка в почву

над ним образуется углубление от смятия и сдвига почвы. Если скорость хода низкая, а батарея вращается со скоростью:

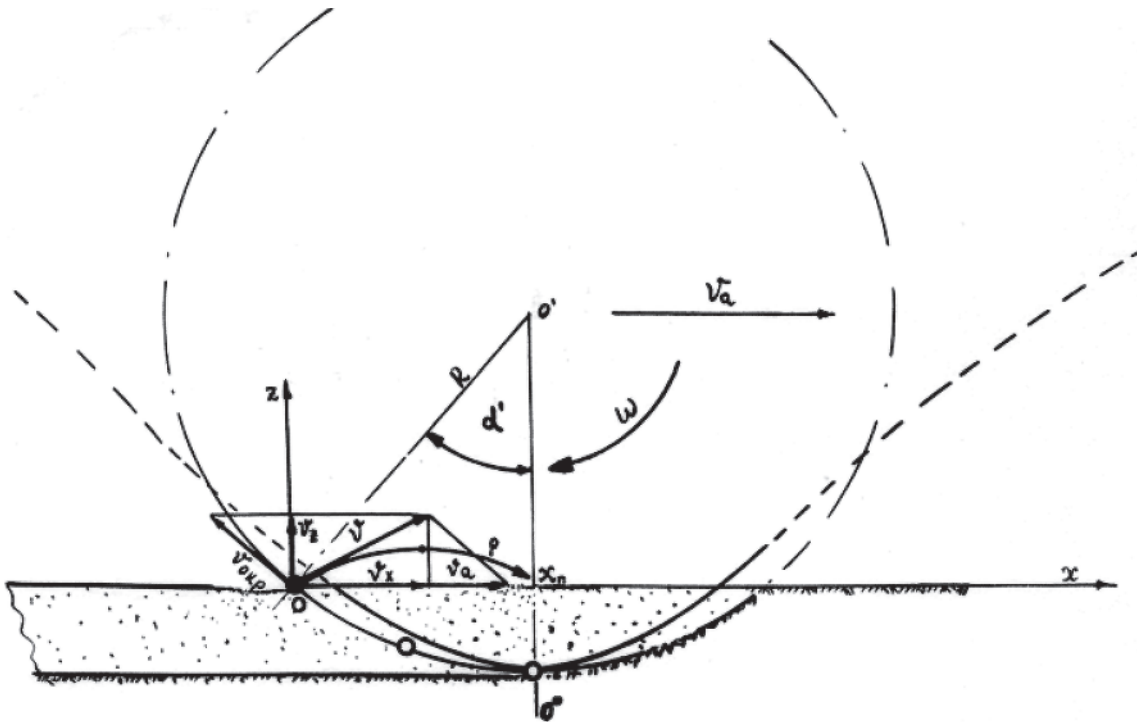
$$V_{\text{окр}} = \frac{V\alpha}{i}. \quad (1)$$

То это углубление на почве остается не выровненным. Однако, как только скорость хода агрегата и связанная с ней окружная скорость батареи возрастут, происходит выравнивание указанных неровностей. На рисунке приведена схема, поясняющая работу прутка. Выберем систему координат согласно рисунку, на котором оси OZ O и OX O проходят через центр прутка. При этом ось OX совпадает с поверхностью поля. Окружная скорость $V_{\text{окр}}$ направлена по касательной к радиусу R батареи. Поступательная скорость V_{α} направлена горизонтально. Вектор результирующей скорости V направлен под углом к горизонту внутрь батареи. По построению имеем:

$$V_x = V_{\alpha} - V_{\text{окр}} \cos \alpha'. \quad (2)$$

Выражая окружную скорость через поступательную, из уравнения (1), получаем:

$$V_x = V_{\alpha} - \frac{V_{\alpha}}{i} \cos \alpha' = V_{\alpha} \left(1 - \frac{1}{i} \cos \alpha' \right) = \frac{V_{\alpha}}{i} (1 - \cos \alpha'). \quad (3)$$



К обоснованию скоростного режима сепарации почвы и сорняков рабочими органами культиваторов

Вертикальная составляющая скорости на ось oz , равна:

$$V_z = V_{\text{окр}} \sin \alpha'. \quad (4)$$

Заменяя окружную скорость поступательной, получаем:

$$V_z = \frac{V_\alpha}{i} \sin \alpha'. \quad (5)$$

Таким образом, частица почвы O выбрасывается из почвы под углом и перемещается по траектории op_0 . Уравнения проекций этой траектории на оси ox и oz имеют вид:

$$x = V_x \cdot t; \quad (6)$$

$$z = V_z t - \frac{gt^2}{2}. \quad (7)$$

Это – известное уравнение параболы, находящейся в плоскости xoz – продольно-вертикального сечения пласта. Определяя t из уравнения (6) и подставляя его значение в уравнение (7), получаем траекторию движения в координатах на оси z, x :

$$Z = \frac{V_z}{V_x} \cdot X - \frac{gt^2}{2V_x} \cdot X^2.$$

Время t_1 , за которое почвенная фракция достигает вершины параболы, определим из условия:

$$\frac{dz}{dt} = 0,$$

то есть, приравнивая первую производную уравнения(7) к нулю, тогда:

$$\frac{dz}{dt} = V_z - gt_1 = 0.$$

Откуда

$$t_1 = \frac{V_z}{g}.$$

Координаты точки перегибы параболы находим, подставляя t в уравнение (6) и (7):

$$x_1 = \frac{V_z \cdot V_x}{g} \quad (8)$$

и

$$Z_1 = \frac{V_z^2}{2g}. \quad (9)$$

Полное время полета частицы до ее падения равно:

$$t_n = \frac{2V_z}{g}. \quad (10)$$

Максимальная дальность полета составляет:

$$x_n = V_n t_n = \frac{2V_x \cdot V_z}{g}. \quad (11)$$

Составим отношение скоростей V_z и V_x из уравнений (3) и (5):

$$\frac{V_z}{V_x} = \frac{\frac{V_\alpha}{i} \sin \alpha'}{\frac{V_\alpha}{i} (i - \cos \alpha')} = \frac{\sin \alpha'}{i - \cos \alpha'}.$$

Следовательно:

$$V_z = \frac{V_x \sin \alpha'}{i - \cos \alpha'} \quad (12)$$

Подставляя значение V_z в уравнение (11), запишем:

$$\frac{2V_x \cdot V_x \sin \alpha'}{g(i - \cos \alpha')} = \frac{2V_x \sin \alpha'}{g(i - \cos \alpha')} \quad (13)$$

Заменяя V_x его значением из уравнения (3), после преобразования получаем длину полета частицы по горизонтали в зависимости от поступательной скорости V_α агрегата, передаточного числа i тормоза, угла поворота рабочего органа и ускорения свободного падения:

$$X_n = \frac{2 \frac{V_\alpha}{i} (i - \cos \alpha') \cdot \sin \alpha'}{g(i - \cos \alpha')} = \frac{2V_\alpha (i - \cos \alpha') \sin \alpha'}{gi}$$

Из этого равенства определяем предельно допустимую минимальную скорость агрегата, удовлетворяющую условию падения частицы почвы в заданную точку x_n :

$$V_\alpha = i \sqrt{\frac{gx_n}{2 \sin \alpha' (i - \cos \alpha')}} \quad (14)$$

Входящая в уравнение дальность полета x_n частицы равна отрезку ox_n , ограниченному точкой пересечения вертикального радиуса $o'o''$ с траекторией op . В этой точке под прутками почва имеет максимальную осадку. Если частицы почвы падают в это углубление (точка x_n), то они тем самым заполняют его, и поверхность поля становится выровненной.

$$V_\alpha = i \sqrt{\frac{gR}{(i - \cos \alpha')}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{9,8 \cdot 0,3}{2 \cdot (2,8 - 0,8)}} = 2,25 \text{ м/с} = 8,1 \text{ км/ч.}$$

3. Окружная скорость батареи:

$$V_{\text{окр}} = \frac{V_\alpha}{i} = \frac{2,25}{2} = 1,125 \text{ м/с} = 4,05 \text{ км/ч.}$$

4. Горизонтальная скорость резания (скольжения) прутка:

$$V_x = \frac{V_\alpha}{i} \cdot (1 - \cos \alpha') = 1,125 \cdot 1,2 = 1,35 \text{ м/с} = 4,8 \text{ км/ч.}$$

5. Вертикальная (начальная) скорость полета частиц почвы:

$$V_z = \frac{V_\alpha}{i} \cdot \sin \alpha' = 1,125 \cdot 0,6 = 0,675 \text{ м/с} = 2,4 \text{ км/ч.}$$

6. Высота полета:

$$Z_{\text{max}} = \frac{V_z}{2g} = \frac{0,675}{2 \cdot 9,8} = 2,3 \text{ см.}$$

Поэтому, агрегату нужно сообщить такую скорость, чтобы горизонтальный полет частицы обеспечивал выровненное поле и был равен:

$$x_n = R \sin \alpha' \quad (15)$$

Заменяя x_n в уравнении (14) его значением (15), получаем расчетную формулу для определения предельно допустимой минимальной скорости хода агрегата:

$$V_\alpha = i \sqrt{\frac{gR \sin \alpha'}{2 \sin \alpha' (i - \cos \alpha')}} = i \sqrt{\frac{gR}{2(i - \cos \alpha')}} \quad (16)$$

Все скорости выше расчетной V_α будут обеспечивать высокое качество обработки, а скорости ниже ее создают волнистую поверхность поля. Поэтому необходимо соблюдать условие:

$$V_{\text{amin}} \geq V_\alpha$$

Пример:

Определить предельно допустимую минимальную скорость движения агрегата и высоту полета частиц почвы для получения выровненной поверхности поля, если: радиус катка сепаратора $R = 300$ мм; передаточное число тормоза $i = 2$; количество прутков на диске $n = 18$; глубина обработки почвы 6 см.

1. Угол поворота прутка до пересечения с поверхностью поля:

$$\alpha' = \arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right) = \arccos 0,8 = 37^\circ.$$

2. Минимальная скорость хода катка-сепаратора:

7. Дальность полета по горизонтали:

$$x_n = \frac{2V_x \sin \alpha'}{g(i - \cos \alpha')} = 18 \text{ см.}$$

Скорость V_x резания почвы меньше почвы меньше поступательной раза и составляет для прутка 4,7 км/ч, в то время как у пассивных рабочих органов (лап культиваторов, зубьев борон и других) она равна поступательной скорости агрегата, а по сравнению с фрезями, при скорости резания 6–8 м/с, она меньше в 4–5 раз. Установлено, что с увеличением скорости движения от 5,5 до 12 км/ч глубина

сепарирующих рабочих органов уменьшается на 17–20%, что требует корректировки глубины хода агрегата, например, увеличением реакций опор на ротационные рабочие органы. Расход мощности равен

$$N = PV_\alpha = M\omega$$

произведению силы сопротивления, преодолеваемой агрегатом на скорость рыхления сепаратором, либо произведению приведенного момента момента силы сопротивления на крюке на угловую скорость ω скольжения роторов.

Влияние скорости хода агрегата на глубину обработки почвы

Передача	3	4	5	6	7
Скорость, км/ч	5,5	6,7	8,1	9,5	12
Глубина обработки почвы, см	8,8	8,2	7,8	7,6	7,5

При движении трактора со скоростью 10 км/ч, сепаратор имеет передачу торможения равную $i = 3$. Скорость скольжения прутков равна

$$V_{ск} = V_a \delta_{ск} = V_a \left(1 - \frac{1}{i}\right),$$

где $\delta_{ск} = 1 - \frac{1}{i}$ – коэффициент скольжения сепарирующего ротора культиватора.

Тогда скорость рыхления при $i = 3$ будет равна скорости скольжения $V_{ск}$:

$$V_{ск} = V_a \delta_{ск} = V_a \left(1 - \frac{1}{i}\right) = 10 \cdot \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 6,6 \text{ км/ч,}$$

а затраты мощности при равном сопротивлении соответственно составят

$$N = V_a P \text{ и } N = V_a \cdot \delta_{ск} P = 10 \cdot 0,66 P = 6,6 P.$$

При этом мощность при работе заторможенных роторов существенно уменьшатся

$$\left(\frac{10 - 6,6}{10} \cdot 100\% = 34\%\right)$$

По параметрам торможения роторов, культиваторы являются энергосберегающими почвообрабатывающими машинами.

Выводы

1. Установлена предельно допустимая минимальная скорость движения ротационных сепарирующих рабочих органов, которая при выполнении технологического процесса должна составлять не менее 8,1 км/ч; верхний предел скорости не ограничен условиями технологического процесса.

2. Торможением рабочих органов от почвы решаются две задачи. Во-первых, это позволяет снизить сопротивление рыхлению почвы на 30–35%, а в сумме и потребляемую мощность на обработку почвы на 35–40%.

3. Это позволяет комплектовать широкозахватные скоростные культиваторные агрегаты и более высокое качество технологии обработки почвы.