

А. М. Комиссаров, В. А. Новичихин

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУКОВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Использование в лесном хозяйстве лесозаготовительной техники — трелевочных тракторов, бензопил и других машин и механизмов — позволяет лесоведам шире вести лесовосстановительные работы.

Повышение продуктивности лесов во многом зависит от уровня и интенсивности проведения механизированных работ. В частности, в практике выращивания хозяйственно ценных быстрорастущих пород, особенно на площадях крупных лесных питомников, находит распространение внесение в почву минеральных и органических удобрений с помощью специальных навесных сеялок.

В настоящей работе предусматривается вывести аналитические зависимости, которые позволили бы обоснованно выбирать основные параметры туковывсевающего аппарата туковой сеялки (рис. 1, а): R — радиус высевного барабана; ω — угловая скорость вращения барабана; α — угол наклона рабочей поверхности к радиусу; b_1 и b_2 — расстояние стенок высевной щели от оси высевного барабана; h_1 и h_2 — высота стенок высевной щели.

Размерами R , b_1 и b_2 определяется ширина ящика сеялки b .

На частицу m (рис. 1, б), находящуюся на рабочей поверхности высевного органа (гребенка, нож и т. д.), действуют следующие силы:

$G = mg$ — вес частицы;

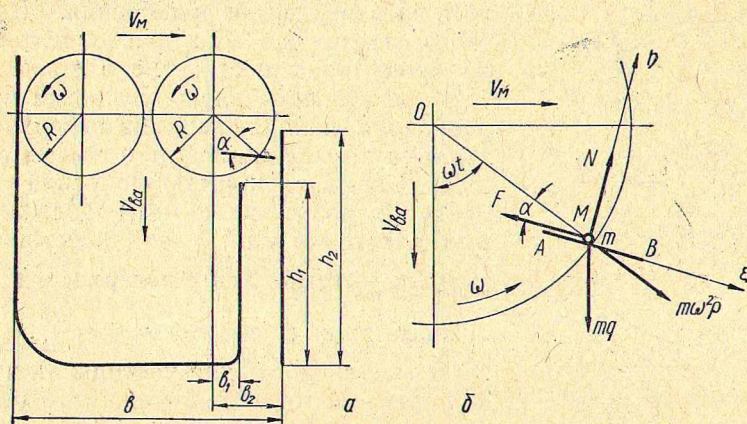
N — реакция от рабочей поверхности;

F — сила, пропорциональная коэффициенту трения или сцепления и направленная в сторону, обратную возможному смещению частицы по поверхности AB ;

$i = m\omega^2\rho$ — сила инерции частицы m от переносного движения.

В общем случае на частицу m , кроме указанных сил, будут действовать еще силы сопротивления массы удобрений

перемещению поверхности AB . Последнее зависит как от свойств удобрений, так и от формы и параметров деформирующей поверхности AB . В задачу настоящей работы не входит обоснование формы и параметров рабочей поверхности, поэтому рассматриваться будет только тот случай, когда поверхность не взаимодействует с основной массой удобрений, т. е. когда протекает процесс выбрасывания удобрений. При рассмотрении данного вопроса принимается, что поверхность AB представляет собой плоскость, параллельную оси вращения барабана.



Р и с. 1

Поместим в точку M начало подвижных осей координат ξ и η . Тогда дифференциальное уравнение относительного движения частицы m , соприкасающейся с поверхностью в точке M , запишется в такой форме:

$$m = \frac{d^2\xi}{dt^2} = -Nf + mg \cos(\omega t + \alpha) + m\omega^2\rho \cos \alpha; \quad (1)$$

$$m = \frac{d^2\eta}{dt^2} = N - mg \sin(\omega t + \alpha) - m\omega^2\rho \sin \alpha. \quad (2)$$

Так как поверхность AB вращается равномерно, то скорость движения частицы m по оси η $v_{\eta(m)} = 0$.

Переносное движение частицы m будет иметь место в том случае, когда скорость относительного движения частицы m $v_{\xi(m)}$ и скорость точки M $v_{\xi(M)}$ не будут совпадать. Но так как $v_{\xi(M)} = 0$, то движение частицы возможно при $v_{\xi(m)} > 0$.

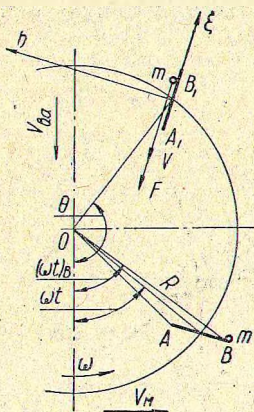
Равновесное состояние частицы m на оси ξ будет определяться условием $\frac{d\xi}{dt} = 0$. При этом условии выражение (1) запишется следующим образом:

$$-Nf + mg \cos(\omega t + \alpha) + m\omega^2\rho \cos \alpha = 0.$$

Отсюда угол ωt , при котором частица m будет находиться в равновесии, определится из выражения:

$$\omega t = -\alpha + \arccos \left(\frac{jN}{mg} - \frac{\omega^2 \rho}{g} \cos \alpha \right). \quad (3)$$

Найденный угол ωt соответствует такому положению поверхности, при котором частица m перестает сходиться с нее.



Р и с. 2

К этому моменту с поверхности должна сойти последняя частица находящегося на поверхности удобрения. Для этого частица должна располагаться на краю поверхности, т. е. в точке B (рис. 2). В противном случае не все удобрения, находящиеся на поверхности, будут выбрасываться в высевную щель. Оставшаяся часть удобрений увлекается поверхностью и по достижении какого-то угла θ под действием силы $m \frac{d^2 \xi}{dt^2}$ ссыпается с поверхности в туковый ящик со скоростью $v = \frac{d\xi}{dt}$.

Выражение (3) для частицы m , находящейся в точке B , будет иметь вид:

$$(\omega t)_B = -\alpha + \arccos \left(\frac{jN}{mg} - \frac{\omega^2 R}{g} \cos \alpha \right). \quad (4)$$

Так как в точке B при угле $(\omega t)_B$ скорость $\frac{d\xi}{dt} = 0$, частица m будет иметь скорость, по величине и направлению совпадающую со скоростью точки B .

Движение точки B характеризуется уравнениями

$$x = R \sin (\omega t)_B + v_{M^*} t;$$

$$y = -R \cos (\omega t)_B + v_{в. а} t$$

или в подвижной системе координат xoy :

$$x = R \sin (\omega t)_B ;$$

$$y = -R \cos (\omega t)_B .$$

Здесь $v_{в. а}$ — скорость движения высевающих барабанов в направлении, параллельном боковым стенкам тукового ящика.

Скорость точки B и частицы m получается в результате дифференцирования последних уравнений

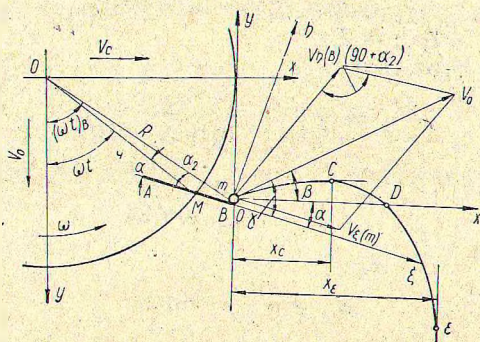
$$v_x = \frac{dx}{dt} = R\omega \cos(\omega t)_B;$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega \sin(\omega t)_B,$$

где $(\omega t)_B$ определяется выражением (4).

Величина результирующей составляющих v_x и v_y будет

$$v_0 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\omega. \quad (5)$$



Р и с. 3

Угол наклона к горизонту результирующей v_0 будет

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{v_x}{v_y} = (\omega t)_B. \quad (6)$$

Частица m , получив начальную скорость v_0 , направленную под углом β к горизонту, под действием силы веса mg описывает в пространстве кривую, которая определяется уравнениями

$$x = v_0 t \cos \beta;$$

$$y = v_0 t \sin \beta - \frac{at^2}{2}$$

или

$$y = x \operatorname{tg} \beta - \frac{ax^2}{2v_0^2 \cos^2 \beta}. \quad (7)$$

Если пренебречь сопротивлением воздуха перемещению частицы, то $a = g$. Подставив в выражение (7) значение v_0 и β , будем иметь

$$y = x \operatorname{tg}(\omega t)_B - \frac{gx^2}{2(R\omega)^2 \cos^2(\omega t)_B} \quad (8)$$

или в развернутом виде

$$y = x \operatorname{tg} \left[-\alpha + \arccos \left(\frac{fN}{mg} - \frac{\omega^2 R}{g} \cos \alpha \right) \right] - \frac{gx^2}{2R^2\omega^2 \cos^2 \left[-\alpha + \arccos \left(\frac{fN}{mg} - \frac{\omega^2 R}{g} \cos \alpha \right) \right]} \quad (9)$$

Траектория движения частицы имеет несколько характерных точек, из которых точка *B* (рис. 3) расположена в начале координат *xoy*, точка *C* является вершиной траектории, точка *D* лежит на пересечении траектории с осью *x*-ов и точка *E* определяет дальность полета частицы *m*.

Определим координаты указанных точек.

Точка *B*. $x = 0, y = 0$.

Точка *C*. В этой точке

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \beta - \frac{gx_C}{v_0^2 \cos^2 \beta} = 0,$$

отсюда

$$x_C = \frac{v_0^2}{2g} \sin 2\beta$$

или

$$x_C = \frac{(R\omega)^2}{2g} \sin 2\beta.$$

Подставляя найденное значение x_C в выражение (7), находим ординату точки *C*

$$y_C = \frac{(R\omega)^2}{2g} \sin^2 \beta. \quad (10)$$

Точка *D*. В этой точке $y = 0$.

Из выражения (7) при $y = 0$ находится абсцисса точки *D*

$$x_D = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\beta = 2x_C.$$

Точка *E*. В этой точке

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \beta - \frac{gx_E}{v_0^2 \cos^2 \beta} = 1,$$

откуда

$$\begin{aligned} x_E &= \frac{v_0^2}{g} \cos^2 \beta (\operatorname{tg} \beta - 1) = \frac{(R\omega)^2}{2g} (\sin^2 \beta - 2\cos^2 \beta); \\ y_E &= \frac{v_0^2}{2g} \left[\sin 2\beta (\operatorname{tg} \beta - 1) - \frac{v_0^2}{2g} \cos^2 \beta (\operatorname{tg} \beta - 1)^2 \right] = \\ &= \frac{v_0^2}{2g} (\operatorname{tg} \beta - 1) [\sin 2\beta - \cos^2 \beta (\operatorname{tg} \beta - 1)] = \frac{(R\omega)^2}{2g} (\operatorname{tg} \beta - 1). \end{aligned}$$

Выше рассматривалась краевая задача, когда относительная скорость частиц $v_m = v_{\xi(m)} = 0$. Это условие соблюдается только при одном значении угла $\omega t = (\omega t)_B$. Во всех других случаях $v_{\xi(m)} \neq 0$.

$$\text{При } \omega t > (\omega t)_B \quad v_{\xi(m)} = - \frac{d\xi}{dt}.$$

При $\omega t < (\omega t)_B$ для частиц, находящихся на плоскости AB , $v_m = v_{\xi(m)} = \frac{d\xi}{dt}$, а для частиц, сходящих в точке B с плоскости AB , $v_m \neq v_{\xi(m)} \neq \frac{d\xi}{dt} \neq 0$. Все рассуждения справедливы для случая равномерного вращения высевного рабочего органа.

Определим относительную скорость частиц на поверхности AB при $\omega t < (\omega t)_B$.

Частица, находящаяся на поверхности, движется в направлении оси ξ со скоростью $\frac{d\xi}{dt}$. Из выражения (1) находим

$$v_{\xi(m)} = - \frac{d\xi}{dt} = \int \left[- \frac{Nf}{m} + g \cos(\omega t + \alpha) + \omega^2 \rho \cdot \cos \alpha \right] dt,$$

но

$$\begin{aligned} \int g \cdot \cos(\omega t + \alpha) &= g \int (\cos \omega t \cos \alpha - \sin \omega t \sin \alpha) dt = \\ &= \frac{g}{\omega} [\cos \alpha \int \cos \omega t \cdot d(\omega t) - \sin \alpha \int \sin \omega t \cdot d(\omega t)] = \\ &= \frac{g}{\omega} \sin(\omega t + \alpha). \end{aligned}$$

Решив остальные интегралы, окончательно получим

$$v_{\xi(m)} = \frac{g}{(\omega)} \sin(\omega t + \alpha) + \mu, \quad (11)$$

где

$$\mu = \omega^2 \rho \cos \alpha \cdot t - \frac{Nf}{m} \cdot t.$$

Скорость частицы, сходящей с плоскости AB в точке B , будет складываться из двух скоростей $v_{\xi(m)}$ и $v_{\eta(B)}$, т. е.

$$\bar{v}_0 = \bar{v}_{\xi(m)} + \bar{v}_{\eta(B)}.$$

Раньше было найдено, что

$$v_{\eta(B)} = R\omega.$$

Принимая во внимание сказанное, из треугольника скоростей (рис. 3) находим

$$\begin{aligned} v_0^2 &= v_{\xi(m)}^2 + v_{\eta(B)}^2 - 2v_{\xi(m)} \cdot v_{\eta(B)} \cdot \cos(90 - \alpha_2) = \\ &= \left[\frac{g}{\omega} \sin(\omega t + \alpha) + \mu \right]^2 + (R\omega)^2 - \\ &- 2 \left[\frac{g}{\omega} \sin(\omega t + \alpha) + \mu \right] \cdot R\omega \cdot \cos(90 - \alpha_2). \end{aligned}$$

При

$$\omega t < (\omega t)_B$$

$$\begin{aligned} v_0' &= \sqrt{\left[\frac{g}{\omega} \sin(\omega t + \alpha) + \mu \right]^2 + (R\omega)^2 +} \\ &+ 2v_{\xi(m)} \cdot R\omega \cdot \cos(\omega t + \alpha - \alpha_2)}. \end{aligned}$$

Угол наклона скорости v_0' к горизонту $\beta = \gamma - \alpha$.

Так как

$$\frac{v_0'}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_2\right)} = \frac{v_B}{\sin \gamma}, \text{ то } \gamma = \arcsin \frac{v_B \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_2\right)}{v_0'}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} \beta &= \arcsin \frac{v_B \sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_2\right)}{v_0'} - \alpha = \\ &= \arcsin \frac{R\omega \cdot \cos \alpha_2}{\sqrt{\left[\frac{g}{\omega} \sin(\omega t + \alpha) + \mu \right]^2 + (R\omega)^2 +} + 2v_{\xi(m)} \cdot R\omega \cdot \cos(\omega t + \alpha - \alpha_2)}}. \end{aligned}$$

Подставляя найденные значения v_0' и β в выражение (7), получим уравнение траектории движения оторвавшейся от поверхности AB частицы m

$$\begin{aligned} y &= x \operatorname{tg} \left(\arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'} - \alpha \right) - \\ &- \frac{gx^2}{2v_0'} \cdot \frac{1}{\cos^2 \left(\arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'} - \alpha \right)}. \end{aligned}$$

Для кривой, выражающейся уравнением (9), координаты точек B , C , D и E определяются следующими выражениями:

$$x_B = 0; \quad y_B = 0;$$

$$x_C = \frac{1}{2g} \sqrt{v_0'} \cdot \sin 2 \left(\arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'} - \alpha \right); \quad (12)$$

$$y_C = \frac{1}{2g} \sqrt{v_0'} \cdot \sin^2 \arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'}; \quad (13)$$

$$x_D = \frac{1}{g} \sqrt{v_0'} \cdot \sin 2 \arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'}; \quad (14)$$

$$y_D = 0;$$

$$x_E = \frac{1}{g} \sqrt{v_0'} \cdot \operatorname{tg} \arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'} \times \\ \times \cos^2 \arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'}; \quad (15)$$

$$y_E = \frac{1}{2g} \sqrt{v_0'} \cdot \operatorname{tg} \arcsin \frac{R\omega \cos \alpha_2}{v_0'} - 1. \quad (16)$$

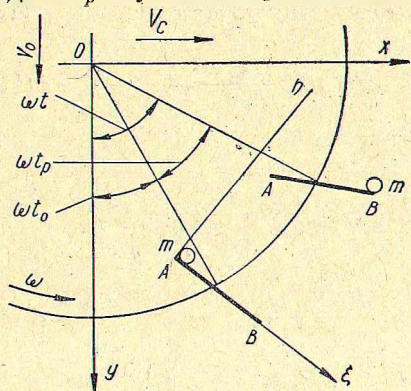
Координатами точек C , D и E определяется выбор размеров высевной щели. Желательно, чтобы передняя стенка высевной щели была расположена от оси y -ов на расстоянии равном или несколько большем x_E . В этом случае выбрасываемые в щель удобрения не будут долетать до стенки или будут только касаться ее, что исключает возможное налипание удобрений на передней стенке. Налипание приводит к нарушению равномерности высева и в отдельных случаях к забиванию высевной щели. Можно допустить, что расстояние от оси y -ов будет меньше x_E , но уменьшать его возможно только до x_C . Координатами y_E , y_D и y_C определяется высота передней стенки и частично форма крышки тукового ящика. В случае больших значений x_C и x_E сеялка должна иметь такую конструкцию тукового ящика, которая бы не имела высевной щели. Это крайне нежелательно. В этом случае, во-первых, удобрения будут выбрасываться на большой высоте над землей, чем нарушится при наличии ветра равномерность распределения его по поверхности и, во-вторых, ослабится прочность подвижной стенки, так как при бесщелевой конструкции она будет одинарной.

Найдем зависимости, определяющие положение задней стенки высевной щели.

Положение задней стенки определяется углом ωt_0 (рис. 4), при котором должно начинаться выбрасывание удобрений. Если обозначить угол, при котором сходит последняя частица с рабочей поверхности AB , через ωt , то

$$\omega t_0 = \omega t - \omega t_p, \quad (17)$$

где ωt_p — угол поворота высева удобрений.



Величина угла ωt_p зависит от количества удобрений и характера распределения их на рабочей поверхности AB . Пусть удобрения размещаются на всей поверхности AB , тогда

$$t_p = \frac{AB}{v_{\xi(m)}}$$

или предельный угол поворота лопасти AB барабана

$$\omega t_p = \omega \frac{AB}{v_{\xi(m)}}, \quad (18)$$

Рис. 4

где t_p — время, в течение которого все удобрения сойдут с поверхности AB , т. е. время, за которое частица m из точки A переместится в точку B (рис. 4).

Ранее было найдено, что

$$v_{\xi(m)} = \frac{g}{\omega} \sin(\omega t + \alpha).$$

Отсюда видно, что $v_{\xi(m)}$ есть величина переменная и зависит от угла поворота ωt , который изменяется от ωt_0 до ωt . Поэтому

$$\left| v_{\xi(m)} \right|_{\omega t_0}^{\omega t} = \frac{1}{\omega t - \omega t_0} \int_{\omega t_0}^{\omega t} v_{\xi(m)} \cdot d(\omega t).$$

В приближенных расчетах можно принимать

$$\left| v_{\xi(m)} \right|_{\omega t_0}^{\omega t} = \frac{1}{2} [v_{\xi(m)}(\omega t) - v_{\xi(m)}(\omega t_0)]. \quad (19)$$

Подставляя найденное значение $\left| v_{\xi(m)} \right|_{\omega t_0}^{\omega t}$ в выражение (18) и принимая во внимание равенство (4) и формулу (17),

можно получить выражение, из которого при известном AB подбором определяется ωt_0 . При известном ωt_0 определяются координаты точки B :

$$x_B = R \cdot \sin(\omega t_0);$$

$$y_B = R \cdot \cos(\omega t_0).$$

Величины Δx и Δy представляют собой минимальный зазор в соответствующих плоскостях между рабочей поверхностью и задней стенкой. Положение точки B_0 и величины Δx и Δy определяют размещение передней стенки высевной щели.

Если подвижная стенка не будет иметь щели, то для определения ωt_0 нужно найденное значение ωt_p вычитать от угла ωt , определяемого выражениями (17, 18).

Если задаться значениями ωt и ωt_0 , можно определить ωt_p , по которому допустимое значение AB находится из выражения (18).

Из треугольника MOB (рис. 3) находим

$$\frac{AB}{2 \sin [180 - \alpha_2 - (180 - \alpha)]} = \frac{R}{\sin (180 - \alpha)} = \frac{r}{\sin \alpha_2}$$

или

$$\frac{AB}{2 \sin (\alpha - \alpha_2)} = \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{r}{\sin \alpha_2}.$$

В сравнении с R и r , AB и тем более $\frac{1}{2} AB$ есть величина малая. Поэтому R и r будут мало отличаться друг от друга и, следовательно, можно принимать $\alpha \approx \alpha_2$. При таком допущении формулы (12), (13), (14), (15) и (16) будут иметь более простой вид.

Максимальная дальность полета x_E (рис. 5) будет при $(x_E)' = 0$, т. е. при

$$\left[\frac{v_0^2}{2g} (\sin 2\beta - 2 \cos^2 \beta) \right]' = 0.$$

Взяв производную, находим

$$\frac{v_0^2}{2a} (2 \cos 2\beta + 2 \sin 2\beta) = 0,$$

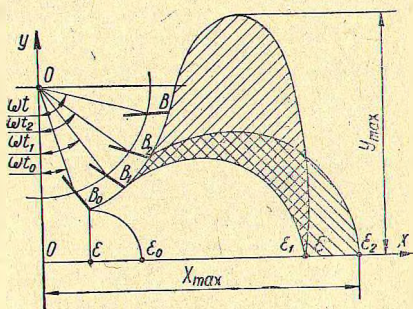


Рис. 5

откуда

$$\cos 2\beta + \sin 2\beta = 0$$

или

$$1 + \operatorname{tg} 2\beta = 0,$$

т. е.

$$\operatorname{tg} 2\beta = -1, \text{ а } \beta = 67^\circ 30'.$$

Максимальная высота подъема y_C будет при максимальном значении угла β . Угол β имеет максимальное значение, когда в момент отрыва частицы от поверхности $v_{z(m)} = 0$. Следовательно, наибольшая высота подъема определится выражением

$$y_{C \max} = \frac{(R\omega)^2}{2g} \cdot \sin^2 \left[-\alpha + \operatorname{arc} \cos \left(\frac{fN}{mg} - \frac{\omega^2 R}{g} \cos \alpha \right) \right]. \quad (20)$$

З а к л ю ч е н и е

1. Полученные зависимости дают возможность обоснованно выбирать основные параметры туковывсеивающего аппарата сеялки.

2. Результаты исследования могут быть использованы при конструировании туковых сеялок.
