

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ СКОРОСТИ ТОРФОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Горбач Н.И., Луцевич С.В.

1. Назначение, устройство и описание работы торфоуборочной машины

Машина предназначена для уборки кускового гранулированного торфа с размером гранул длиной 100 мм и диаметром 80 мм из валков. Она представляет собой прицепное к трактору устройство, состоящее из рабочего органа 1 и приемного желоба 2 с расположенным в нем шнеком. Шнек предназначен для выгрузки убранный торфа из желоба в борт или загрузки его в транспортное устройство. Схема машины приведена на рис.1.

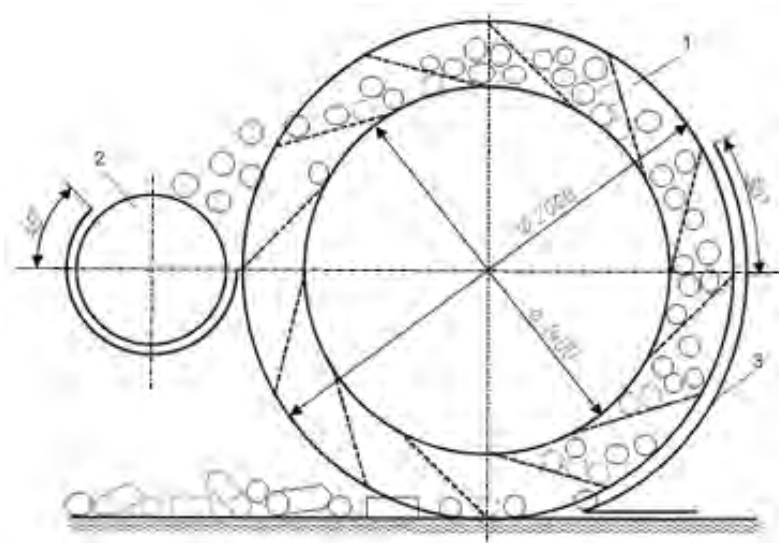


Рис. 1

Рабочим органом машины является колесо в виде катушки, центральная часть которой представляет полу трубу. К торцам трубы приварены диски. Обод диска является опорной поверхностью колеса.

Длина окружности внутренней трубы радиуса 70 см и окружности радиуса 100 см на диске разделены на 12 частей. К дискам и к трубе приварены лопасти под углом наклона к диаметру колеса, образованным линией, соединяющей точки пересечения радиусов с окружностью трубы и окружностью на диске.

Таким образом, пространство между лопастями, стенками диска и внутренней трубой представляет ковш, в котором при работе машины накапливается торф.

При качении колеса куски торфа захватываются лопастями и транспортируются в приемный желоб.

Целью данной работы является определение поступательной скорости машины, при которой куски торфа будут отрываться от лопасти при некотором угле ее наклона к горизонту и попадать в приемный желоб и не заклиниваться между кожухом желоба и шнеком.

2. Определение длины и угла наклона лопасти к горизонту

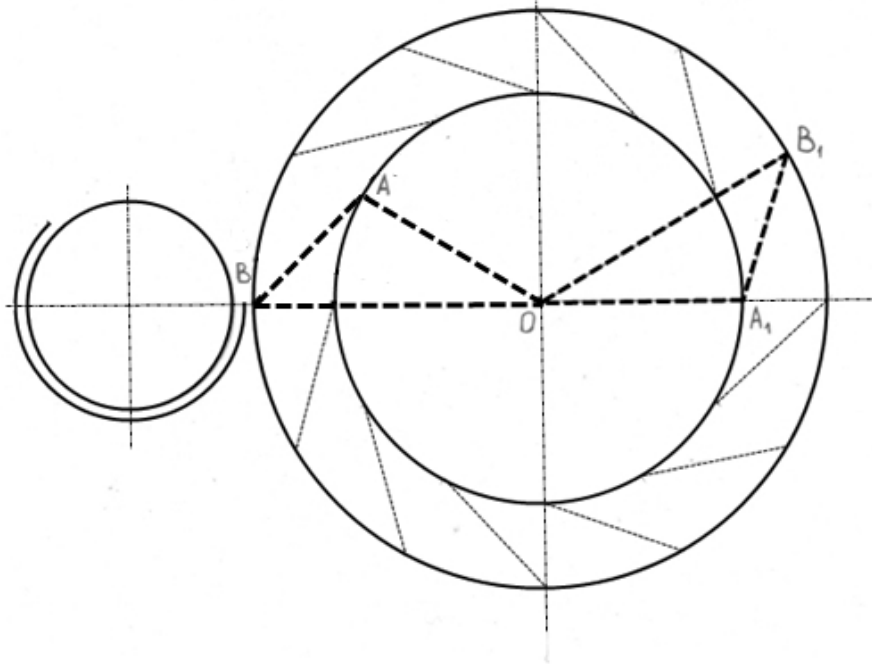


Рис. 2

Рассмотрим треугольники $\triangle OAB$ и $\triangle OA_1B_1$ (рис. 2):

$$\triangle OAB \sim \triangle OA_1B_1$$

$\angle A = \angle A_1$, $\angle B = \angle B_1$. Так как длина окружности разделена на 12 частей, то центральный угол равен 30° .

Определяем по теореме косинусов длину лопасти:

$$\begin{aligned} l = AB &= \sqrt{OA^2 + OB^2 - 2 \cdot OA \cdot OB \cdot \cos 30^\circ} = \\ &= \sqrt{70^2 + 100^2 - 2 \cdot 70 \cdot 100 \cdot \cos 30^\circ} = 52,684 \text{ см.} \end{aligned}$$

По теореме синусов определяем внутренние углы $\angle A$ и $\angle B$ $\triangle OAB$:

$$\angle A = 108,37^\circ, \angle B = 41,63^\circ$$

Пусть движение и отделение кусков от лопасти должно происходить тогда, когда лопасть из верхнего положения перейдет в положение, в котором радиус OB составит с горизонтом угол $\beta = 10^\circ$, т.е. точка отрыва куска от лопасти будет находиться на расстоянии от горизонтального диаметра

$$h_B = OB \sin \beta = 100 \cdot \sin 10^\circ = 174 \text{ мм.}$$

Тогда угол наклона лопасти в положении, в котором будет отделяться кусок от лопасти:

$$\alpha = \angle B - 10^\circ = 41,63^\circ - 10^\circ = 31,63^\circ.$$

3. Определение рабочей скорости машины

Рассмотрим кусок торфа, находящийся на лопасти, расположенной под $\angle \alpha$ к горизонту (рис.3).

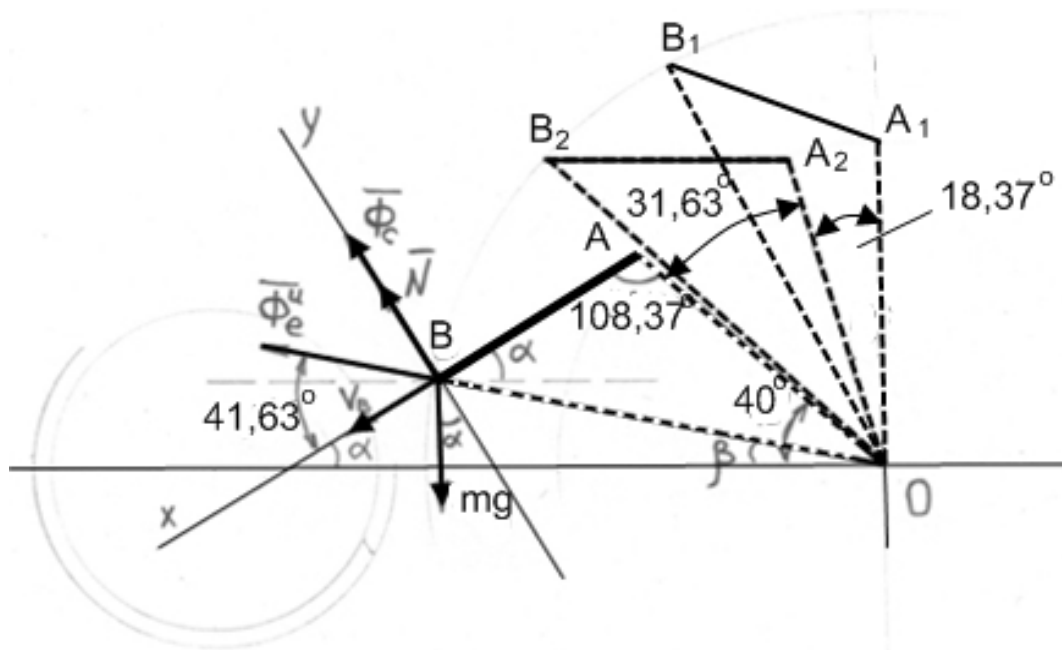


Рис.3

На кусок действуют сила тяжести $m\bar{g}$, кориолисова сила инерции $\bar{\Phi}_C$, переносная центробежная сила инерции $\bar{\Phi}_e^A$ и нормальная реакция \bar{N} . Силой трения пренебрегаем, т.к. происходит отрыв.

Запишем основное уравнение динамики относительного движения в проекции на ось y :

$$m \ddot{y} = -mg \cos \alpha + \Phi_{ц} \sin \angle B + \Phi_C + N.$$

(1)

Так как движение по оси y отсутствует, то $\ddot{y} = 0$. Тогда

$$N = mg \cos \alpha - \Phi_{ц} \sin \angle B - \Phi_C.$$

В момент отрыва $N = 0$.

В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$mg \cos \alpha - m\omega^2 OB \sin \angle B - \Phi_C = 0, \text{ где } \Phi_C = 2m\omega V_{отн}$$

или сократив на m и заменив $\omega = \frac{V}{R}$, получим:

$$g \cos 31,63^\circ - \frac{V^2}{R^2} R \sin 41,63^\circ - 2 \frac{V}{R} V_{отн} = 0$$

или

$$-V^2 \sin 41,63^\circ - 2V_{отн} V + gR \cos 31,63^\circ = 0. \quad (2)$$

После преобразований получим квадратное уравнение вида:

$$V^2 + \frac{2V_{отн}}{\sin 41,63^\circ} V - gR \frac{\cos 31,63^\circ}{\sin 41,63^\circ} = 0. \quad (3)$$

Корни этого уравнения:

$$V_{1,2} = -\frac{V_{отн}}{\sin 41,63^\circ} \pm \sqrt{\frac{V_{отн}^2}{\sin^2 41,63^\circ} + gR \frac{\cos 31,63^\circ}{\sin 41,63^\circ}}. \quad (4)$$

Так как $V > 0$, то скорость движения машины:

$$V = -\frac{V_{отн}}{\sin 41,63^\circ} + \sqrt{\frac{V_{отн}^2}{\sin^2 41,63^\circ} + gR \frac{\cos 31,63^\circ}{\sin 41,63^\circ}} = -1,5V_{отн} + \sqrt{2,25V_{отн}^2 + 12,56}. \quad (5)$$

4. Определение относительной скорости движения куска торфа по лопасти в момент его отрыва

Движение куска по лопасти начнется после того, как лопасть займет положение под некоторым углом наклона к горизонту. Если лопасть расположена в самом верхнем положении A_1B_1 , то, чтобы перейти в горизонтальное положение A_2B_2 , колесо должно повернуться на угол равный $108,37^\circ - 90^\circ = 18,37^\circ$. Чтобы лопасть из горизонтального положения заняла положение AB , при котором куски будут отделяться от лопасти, колесо должно повернуться на угол $90^\circ - 40^\circ - 18,37^\circ = 31,63^\circ$. Поэтому угол поворота колеса изменяется от $\varphi_0 = 0$ до $\varphi_1 = 31,63^\circ$, а угол наклона лопасти изменяется так же от $\alpha = 0$ до $\alpha = 31,63^\circ$ (рис.3).

При составлении и решении дифференциального уравнения движения куска по лопасти примем следующие допущения:

- 1) положение лопасти соответствует предельному положению, при котором происходит отрыв куска, т.е. радиус OB составляет с горизонтом угол 10° ;
- 2) силой трения $F_{тр} = fN'$ пренебрегаем, так как силы $\bar{\Phi}_E^д$ и $\bar{\Phi}_C$ стремятся оторвать кусок от лопасти и нормальное давление $\bar{N}' = -\bar{N}$ будет незначительным;
- 3) движение начинается с относительной скоростью равной нулю.

Выберем в точке A начала осей xy . Ось x направим по лопасти в сторону движения куска торфа. Изобразим кусок торфа, считая его материальной точкой, в произвольном положении на оси x (рис.4).

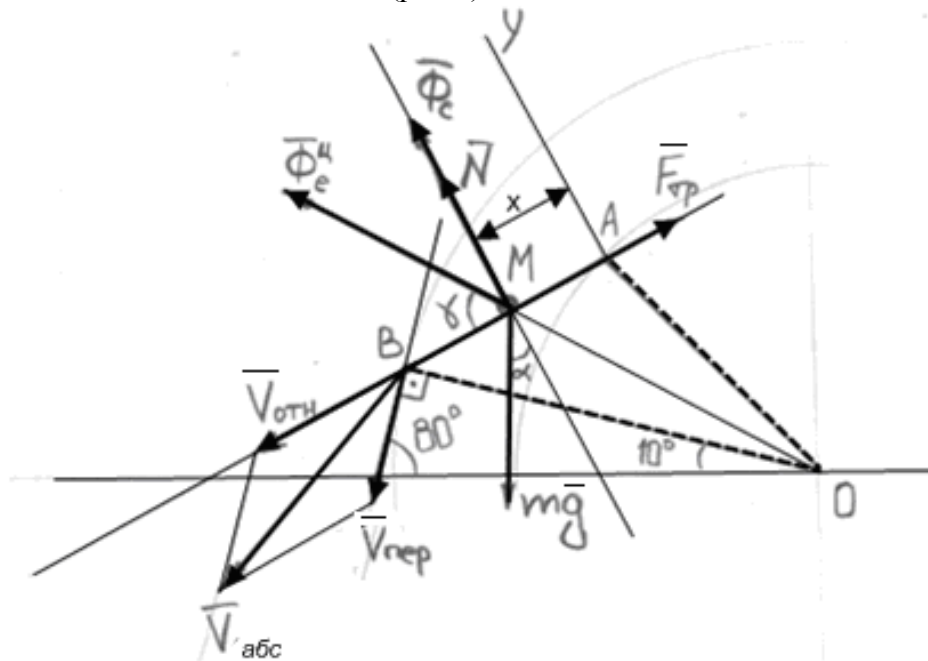


Рис. 4

Покажем силы, действующие на него: вес $m\bar{g}$, нормальную реакцию \bar{N} , переносную центробежную $\bar{\Phi}_E^ц$ и кориолисову $\bar{\Phi}_C$ силы инерции. Запишем ос-

новное уравнение динамики относительного движения куска торфа в проекции на ось x :

$$m \ddot{x} = -mg \sin \alpha + \Phi_e^y \cos \gamma, \quad (6)$$

где $\Phi_e^y = m\omega^2 OM = m \left(\frac{V}{R} \right)^2 OM$, $(OM)^2 = x^2 + r^2 - 2xr \cos 108,37^\circ$.

Определим $\cos \gamma$. По теореме синусов $\sin \gamma = \frac{r \sin 108,37^\circ}{OM}$, а

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} = \sqrt{1 - \frac{r^2 \sin^2 108,37^\circ}{(OM)^2}} = \frac{x - r \cos 108,37^\circ}{OM}.$$

Тогда уравнение (6) примет вид

$$m \ddot{x} = mg \sin \alpha + m \frac{V^2}{R^2} OM \frac{x - r \cos 108,37^\circ}{OM} \quad (7)$$

или после преобразований получим

$$\ddot{x} = g \sin \alpha + \frac{V^2}{R^2} x + \frac{V^2}{R^2} r \cos 71,63^\circ. \quad (8)$$

Заменим $\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{\dot{x}d\dot{x}}{dx}$.

С учетом этого уравнение (8) запишем в виде:

$$\frac{\dot{x}d\dot{x}}{dx} = \frac{V^2}{R^2} x + g \sin \alpha + \frac{V^2}{R^2} r \cos 71,63^\circ.$$

Разделим переменные и проинтегрируем

$$\begin{aligned} \dot{x}d\dot{x} &= \frac{V^2}{R^2} x dx + \left(g \sin \alpha + \frac{V^2}{R^2} r \cos 71,63^\circ \right) dx; \\ \frac{\dot{x}^2}{2} &= \frac{V^2}{R^2} \frac{x^2}{2} + \left(g \sin \alpha + \frac{V^2}{R^2} r \cos 71,63^\circ \right) x + C_1. \end{aligned}$$

При $t = 0$ $x_0 = 0$; $\dot{x}_0 = 0 \Rightarrow C_1 = 0$

С учетом этого после преобразований получим

$$\dot{x}^2 = \frac{V^2}{R^2} x^2 + 2 \left(g \sin \alpha + \frac{V^2}{R^2} r \cos 71,63^\circ \right) x. \quad (9)$$

При $x = l$ $\dot{x} = V_{отн}$.

Следовательно, относительная скорость в момент отрыва

$$V_{отн} = \sqrt{\frac{V^2}{R^2} (l^2 + 2rl \cos 71,63^\circ) + 2gl \sin \alpha}. \quad (10)$$

С учетом числовых данных относительная скорость:

$$V_{отн} = \sqrt{0,5099V^2 + 5,4149}. \quad (11)$$

Для определения скорости движения машины подставим выражение (11) в уравнение (5) и преобразуем:

$$V + 1,5\sqrt{0,5099V^2 + 5,4149} = \sqrt{2,25(0,5099V^2 + 5,4149) + 12,56}. \quad (12)$$

Возведем в квадрат правую и левую части равенства (12):

$$V^2 + 3V\sqrt{0,5099V^2 + 5,4149} + 2,25(0,5099V^2 + 5,4149) = \\ = 2,25(0,5099V^2 + 5,4149) + 12,56.$$

После преобразований получим

$$3V\sqrt{0,5099V^2 + 5,4149} = 12,56 - V^2. \quad (13)$$

Обозначив $V^2 = U$ и преобразовав, получим уравнение вида:

$$U^2 + 20,5773U - 43,9535 = 0.$$

Корни этого квадратного уравнения:

$$U_{1,2} = -10,2886 \pm \sqrt{10,2886^2 + 43,9535}.$$

Примем знак «+» перед корнем, так как должно быть $U > 0$

$$U = -10,2886 + \sqrt{149,8098} = -10,2886 + 12,2397 = 1,9511 = V^2.$$

Тогда скорость машины:

$$V = \sqrt{U} = \sqrt{1,9511} = 1,3968 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 5,028 \frac{\text{км}}{\text{час}}.$$

В этом случае относительная скорость куска с учетом формулы (11)

$$V_{\text{отн}} = \sqrt{0,5099 \cdot 1,9511 + 5,4149} = 2,5317 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Аналогично можно определить скорость машины и относительную скорость движения куска по лопасти считая, что отделение куска от лопасти должно происходить, когда радиус OB составляет с горизонтом угол $\beta = 15^\circ$ или 20° . В этом случае нужно определить угол α наклона лопасти и значения других углов. Можно угол α принять из условия, что $\text{tg } \alpha = f$, где f – коэффициент трения куска о лопасть. Затем определить угол $\beta = \angle B - \alpha = 41,63^\circ - \alpha$.