

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ЭНЕРГОЕМКОСТИ КОПАНИЯ  
ГРУНТА ОТВАЛОМ БУЛЬДОЗЕРА**

**Краснонос А.Ю.**

**Научный руководитель канд. техн. наук Мальцев В.А.**

*Сибирский федеральный университет*

При разработке грунта различными рабочими органами землеройных машин, энергоёмкость зависит от параметров рабочих органов, а также прочности разрабатываемого грунта. Для того чтобы оценить энергоёмкость копания грунта отвалом бульдозера с изменяющимся углом резания рассмотрим следующую схему представленную на рисунке.

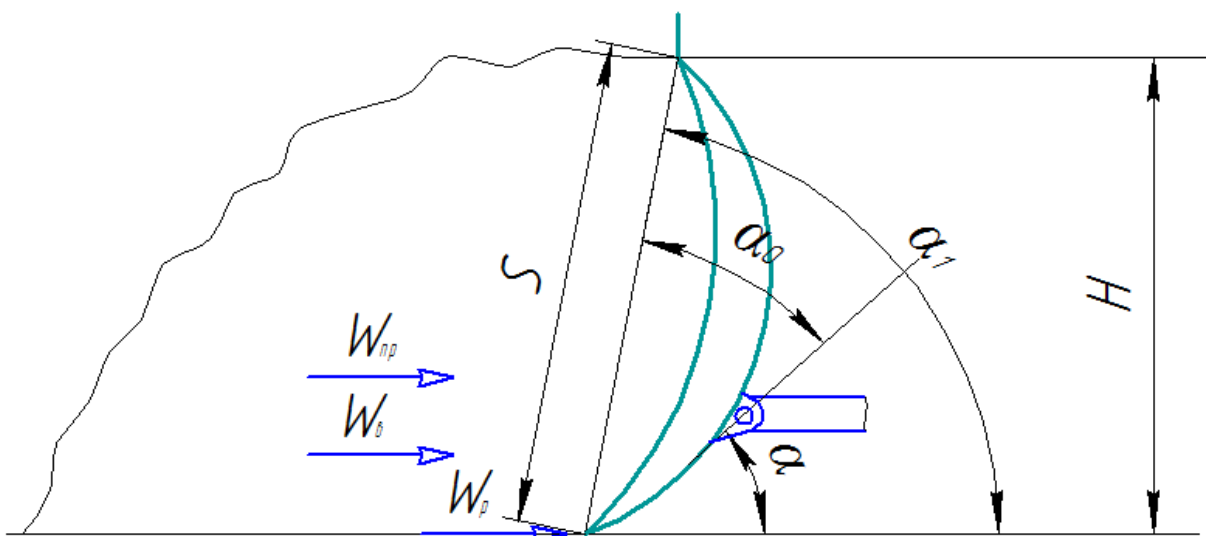


Рисунок – Схема отвала бульдозера

где  $H$  – высота отвала без учета высоты козырька;  $S$  – расстояние от режущей кромки отвала, до точки соединения отвала с козырьком;  $\alpha$  – угол резания;  $\alpha_1$  – угол наклона отвала;  $\alpha_0$  – постоянный угол между касательной к режущей кромке и линией соединяющей режущую кромку ножа отвала с точкой крепления козырька.

Учитывая, что  $\alpha_1 = \alpha_0 + \alpha$ , то величина  $H = S \cdot \sin(\alpha_0 + \alpha) = S \cdot \sin \alpha$ , из этого видно, что угол наклона отвала влияет на высоту отвала, а это в свою очередь, ведет к изменению объема призмы волочения грунта.

При копании грунта отвалом бульдозера возникают три основных сопротивления.

Это сопротивление резанию  $W_p$ , сопротивление перемещению призмы волочения  $W_{np}$ , сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу  $W_g$ , и сопротивление трению ножа о грунт, его принимаем равным нулю.

Эти сопротивления определяются известными зависимостями:

$$W_p = C \cdot h^{1,35} (1 + 2,6 \cdot L)(1 + 0,01\alpha), \quad (1)$$

где  $C$  – число ударов ударника ДорНИИ;  $L$  – длина отвала, м;  $h$  – глубина резания, см;  $\alpha$  – угол резания, град.

$$W_{np} = V_{np} \cdot \gamma_{ep} \cdot \operatorname{tg} \rho, \quad (2)$$

где  $V_{np} = \frac{LH^2}{2K_{np}}$  – объем призмы волочения ( $K_{np}$  – коэффициент призмы волочения);  $\gamma_{zp}$  – объемный вес грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $tg\rho$  – коэффициент трения грунта по грунту.

$$W_6 = V_{np} \cdot \gamma_{zp} \cos^2 \alpha \cdot tg\delta, \quad (3)$$

где  $tg\delta$  – коэффициент трения грунта по грунту.

На основании этих сопротивлений определяем мощность бульдозера идущий на преодоление сопротивлений копанию грунта

$$N = \frac{T \cdot V_p}{102 \cdot \eta}, \quad (4)$$

где  $T$  – суммарное сопротивление копанию на отвале бульдозера, кгс;  $V_p$  – скорость движения бульдозера при копании, м/с;  $\eta$  – КПД.

Учитывая, что производительность бульдозера при копании грунта определяется по формуле:

$$П = \frac{3600 \cdot V_{np} \cdot K_6 \cdot K_y}{T_y K_p}, \quad (5)$$

где  $K_6$  – коэффициент использования бульдозера по времени ( $K_6 = 0,8 - 0,85$ );  $K_y$  – коэффициент учитывающий влияние уклона местности;  $T_y$  – продолжительность цикла, с;  $K_p$  – коэффициент разрыхления грунта.

Продолжительность цикла бульдозера, определим по формуле:

$$T_u = \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_{mp}}{V_{mp}} + \frac{l_p + l_{mp}}{V_{xx}} + t_n, \quad (6)$$

где  $l_p$  – длина пути резания, м;  $V_p$  – скорость движения бульдозера при копании, м/с;  $l_{mp}$  – длина транспортирования грунта, м;  $V_{mp}$  – скорость движения бульдозера при перемещении грунта,  $V_{mp} = 0,9 - 1,0$  м/с;  $V_{xx}$  – скорость обратного холостого движения трактора,  $V_{xx} = 1,1 - 2,2$  м/с;  $t_n$  – общее время, затрачиваемое на опускание отвала, переключение передач и разворот,  $t_n = (25 - 28)$  с.

$$l_p = \frac{V_{np}}{F} = \frac{V_{np}}{Lh_{cp}} = \frac{2V_{np}}{L(h_{max} + h_{min})}, \quad (7)$$

где  $F$  – площадь снимаемого слоя грунта, м<sup>2</sup>;  $h_{cp}$  – средняя глубина резания грунта, м;  $h_{max}$  – глубина резания в начале копания, м;  $h_{min}$  – глубина резания в конце копания грунта при перемещении призмы волочения, м;  $L$  – длина отвала, м;

$$h_{max} = \frac{T}{K_{pez} L}, \quad (8)$$

где  $K_{pez}$  – удельное сопротивление грунта резанию, кгс/м<sup>2</sup>.

На основании вышеизложенного, энергоёмкость копания грунта отвалом бульдозера определяется:

$$E = \frac{N}{\Pi} = \frac{\frac{T \cdot V_p}{102 \cdot \eta}}{3600 \cdot V_{np} \cdot K_\epsilon \cdot K_y} = \frac{T \cdot V_p \cdot T_u \cdot K_p}{102 \cdot \eta \cdot 3600 \cdot V_{np} \cdot K_\epsilon \cdot K_y} =$$

$$\frac{(C \cdot h^{1,35} (1 + 2,6 \cdot L)(1 + 0,01\alpha) + \frac{LH^2}{2K_{np}} \cdot \gamma_{zp} \cdot \text{tg} \rho + \frac{LH^2}{2K_{np}} \cdot \gamma_{zp} \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{tg} \delta) V_p \cdot T_u \cdot K_p}{102 \cdot \eta \cdot 3600 \cdot \frac{LH^2}{2K_{np}} \cdot K_\epsilon \cdot K_y}, \quad (9)$$

$$\text{где } T_u = \frac{\frac{LH^2}{K_{np}}}{L \left( \frac{T}{K_p \cdot L} + h_{\min} \right) V_p} + \frac{l_{mp}}{V_{mp}} + \frac{\frac{LH^2}{K_{np}}}{V_{xx}} + l_{mp} + t_n \quad (10)$$

Таким образом, получена математическая модель, устанавливающая взаимосвязь основных параметров навесного рабочего оборудования бульдозера с энергоемкостью копания грунта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Добронравов С. С., Дронов В. Г. Строительные машины и основы автоматизации: учебник. М.: Высшая школа, 2001. – 576 с.
2. Довгяло В. А., Бочкарев Д. И. Дорожно-строительные машины. Часть I: Машины для земляных работ: учеб. пособие. Г. Беларусь.: БелГУТ, 2010. 250 с.
3. Шестопапов К. К. Строительные и дорожные машины: учеб. пособие. М.: изд-во Академия, 2008. 384 с.
4. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины: учеб. пособие для вузов. С.: изд-во ДНК, 2008. 704 с.