

Тургунбаев М.С.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ РАЗРУШЕНИЯ  
ОДНОРОДНОГО ГРУНТА

M.S. Turgunbaev

THEORETICAL BASIS OF DETERMINATION OF POWER FAILURE  
HOMOGENEOUS SOILS

УДК:621.879.06

Рассмотрены теоретические основы определения силы разрушения однородного грунта на основе теории предельного равновесия сыпучей среды.

Theoretical base of the determination of power resistance of ground with stone of the soil base includes containing of large ground of soil of power of destruction.

Расчетная схема разрушения однородного грунта под воздействием режущего органа землеройной машины показана, на рис.1. Режущий орган землеройной машины воздействует на грунт под углом резания  $\alpha$ .

По теории предельного равновесия в «Механике фунтов» определяется предельная нагрузка на грунт, превышение которой вызывает потерю устойчивости части грунтового массива.

При условии геометрического подобия, схожести рабочей поверхности режущего элемента и надвигаемой подпорной стенки на грунт, предельные нагрузки определяемые механикой грунтов могут служить ориентиром для определения сопротивления грунтов разрушению. Под действием силы разрушения, действующего со стороны режущего органа, фунт испытывает такие виды деформации как уплотнение, сжатие, смятие, сдвиг [1]. В дальнейшем движении режущего органа, под действием силы разрушения -  $P_p$ , фунт доводится до предельно напряженного состояния.

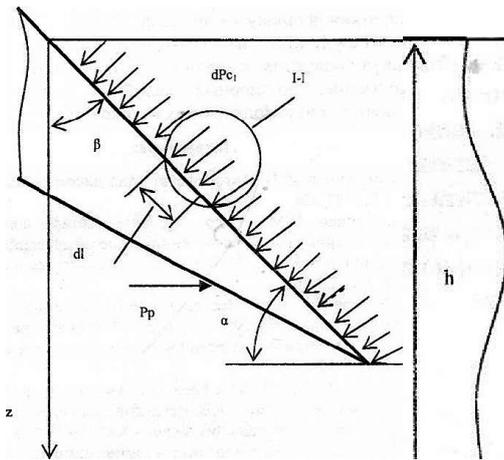


Рис. 1. Расчетная схема для определения силы разрушения однородного грунта: 1 - массив грунта;  $P_p$  - сила разрушения грунта;  $dP_c$  - элементарные силы сопротивления грунта разрушению;  $dl$  - элементарная длина режущего органа;  $\alpha$  - угол резания;  $\beta$  - угол между режущим органом и вертикальной плоскостью;  $h$  - глубина резания.

Из рис. 1 следует, что сила разрушения грунта, уравнивается силами сопротивления грунта раз-

рушению, в момент наступления предельного напряженного состояния. Отсюда:

$$P_p = P_{c1} \quad (1)$$

где  $P_p$  - сила разрушения однородного грунта.  $P_{c1}$  - сила сопротивления однородного грунта разрушению.

Если разрушение грунта происходит при достаточной ширине резания, тогда мы вправе принять, что напряженное состояние по ширине резания одинаковое, кроме краев режущего органа.

В этом случае, теоретическое определение силы разрушения однородного фунта можно, проводить в

плоскости. Тогда: 
$$\frac{P_p}{b} = P_{c1} \quad (2)$$

где  $b$  - ширина резания.

В нашем случае сила сопротивления фунта разрушению представляет собой сумму элементарных составляющих полного давления грунта. Тогда:

$$P_{c1} = \int e \, dP_{c1} \quad (3)$$

где  $\int e \, dP_{c1}$  - сумма элементарных горизонтальных составляющих полного давления грунта на поверхности режущего органа. Рассмотрим, какие элементарные составляющие полного давления фунта действуют на элементарной длине режущего органа -  $dl$  (рис. 2).

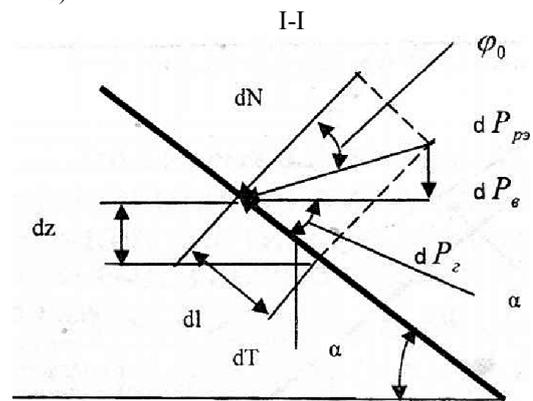


Рис. 2. Схема для определения элементарной составляющей полного давления грунта: нормальное элементарное составляющее полного давления грунта -  $dN$ ; касательное элементарное составляющее полного давления грунта -  $dT$ ; горизонтальное составляющее полного давления -  $dP_x$ ; вертикальное составляющее полного давления грунта -  $dP_y$ ; и равнодействующая элементарных составляющих полного давления грунта, действующих на элементарном участке режущего органа -  $dP_{p3}$ ;  $\varphi_0$  - угол отклонения равнодействующей от нормали.

Нормальное составляющее давления грунта определяется:

$$dN = d\sigma \cdot dl \quad (4)$$

где  $d\sigma$  – нормальное давление к поверхности режущего органа;

Касательное составляющее сопротивления разрушению на поверхности режущего органа определяется:

$$dT = d\tau \cdot dl \quad (5)$$

где  $d\tau$  – касательное давление у поверхности режущего органа. Элементарная глубина резания и длина режущего органа связаны между собой следующей зависимостью:

$$dl = \frac{dz}{\sin \alpha} \quad (6)$$

Нормальное и касательное давление на основе теории предельного напряженного состояния для связной сыпучей среды определены в работе [2]. В работе [2] В.В.Соколовским нормальное давление грунта определено следующим образом:

$$d\sigma = (\gamma h + H)a - H \quad (7)$$

где  $a$  – переменный коэффициент, изменяющийся в зависимости от нахождения подпорной стенки в крутой, промежуточной, пологой и ломаной областях;  $\gamma$  – объемная сила;  $h$  – глубина резания;

$$H = Cctg\varphi \quad (8)$$

где  $C$  – коэффициент сцепления грунта;  $\varphi$  – угол внутреннего трения.

Касательное давление у поверхности режущего органа определяется по формуле:

$$d\tau = (d\sigma + H)tg\varphi_0 \quad (9)$$

Для определения нормального составляющего полного давления по всей длине режущего органа

необходимо проинтегрировать выражение (4) с учетом (6) по глубине резания  $h$ . Тогда:

$$\int_0^h dN = \int_0^h d\sigma dl \quad (10)$$

После интегрирования получаем:

$$N = \frac{ah}{\sin \alpha} (0,5\gamma h + H) - \frac{hH}{\sin \alpha} \quad (11)$$

Теперь для определения касательной составляющей полного давления по всей длине режущего органа необходимо проинтегрировать выражение (5) с учетом (6) по глубине резания  $h$ . Тогда, после интегрирования получаем:

$$T = \frac{ahtg\varphi_0}{\sin \alpha} (0,5\gamma h + H) \quad (12)$$

Если в формулах (13) и (14) выражение  $\frac{ah}{\sin \alpha} (0,5\gamma h + H)$  выразить через  $m$ , тогда получим, для

нормальной составляющей:  $N = m - \frac{hH}{\sin \alpha}$ , и для

касательной составляющей:  $T = mtg\varphi_0$ .

Равнодействующая полного давления на поверхности режущего элемента определяется по формуле:

$$P_c = \sqrt{N^2 + T^2} = \sqrt{\left(m - \frac{hH}{\sin \alpha}\right)^2 + m^2tg\varphi_0^2} \quad (13)$$

$$\text{где } m = \frac{ah}{\sin \alpha} (0,5\gamma h + H)$$

Горизонтальное и вертикальное составляющие полного давления:

1. Горизонтальное составляющее равно:

$$P_{c1} = (\sin \alpha \cos \varphi_0 + \cos \alpha \sin \varphi_0) \cdot P_c = d_1 \cdot P_c \quad (14)$$

2. Вертикальное составляющее равно:  
 $P_e = (\cos \alpha \cos \varphi_0 - \sin \alpha \sin \varphi_0) \cdot P_c = d_2 \cdot P_c$  (15)  
 Отношение вертикального составляющего к горизонтальному равно:

$$\frac{P_e}{P_{c1}} = \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi_0} - \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \varphi_0} \right) \quad (16)$$

В зависимости от реального расположения режущего органа относительно вертикальной оси, или от значения угла  $\beta$ , режущий орган может располагаться в следующих областях: в пологой - I, в промежуточной - II, в крутой - III, или в ломаной области /I/ (рис.4). При этом поверхность режущего органа с вертикальной плоскостью составляют угол -  $\beta$ .

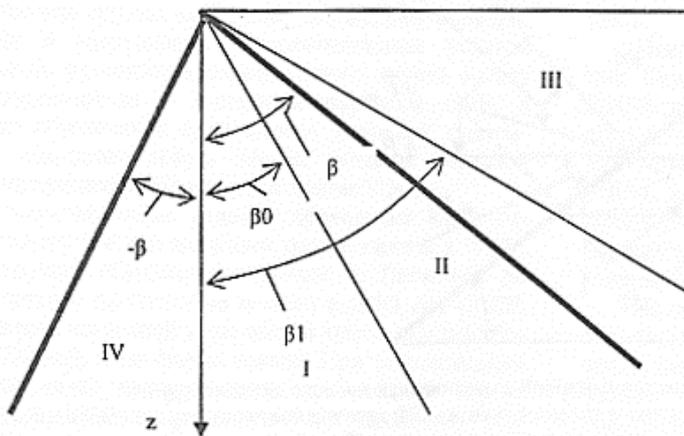


Рис. 4. Область взаимодействия режущего органа с грунтом:  
 I – область крутых режущих органов;  
 II – область промежуточных режущих органов;  
 III – область пологих режущих органов;  
 IV – область ломаных режущих органов.

1. В случае, когда угол  $\beta < \beta_0$ , тогда режущий орган находится в «крутой» области;
2. Если  $\beta_0 \leq \beta \leq \beta_1$ , тогда режущий орган находится в «промежуточной» области;
3. А когда  $\beta > \beta_1$ , в этом случае режущий орган расположен в «пологой» области;
4. А когда  $\beta < 0$ , в этом случае режущий орган расположен в «ломаной» области.

В формуле (7) значение коэффициента  $a$ , изменяется в зависимости, в какой области расположен режущий орган. Здесь следует отметить, что в зависимости от угла резания, режущий орган может находиться в пологой, промежуточной и крутой областях. Сила разрушения грунта при резании острым режущим органом, в установленном режиме, при свободной схеме /3/ резания, на глубине резания -  $h$  и ширине резания -  $b$ , определяется по формуле:

$$P_c = P_c \cdot d_1 \cdot b = \sqrt{\left( m - \frac{hH}{\sin \alpha} \right)^2 + m^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_0} \cdot (\sin \alpha \cos \varphi_0 + \cos \alpha \sin \varphi_0) \cdot b \quad (17)$$

где  $m = \frac{ah}{\sin \alpha} (0,5\gamma h + H)$ .

На основе проведенных экспериментальных исследований на стенде /4/ по полублокированному резанию однородного грунта – суглинка (угол резания -  $45^\circ$ , глубина резания 0,15 м, ширина резания 0,2 м,  $\eta_{np} = 0,2$ , угол трения грунта по режущему органу  $\varphi_0 = 18^\circ$ ) определено значение экспериментальной силы резания  $P_{э} = 2700$  Н. Далее по формуле (17) рассчитано значение теоретической силы разрушения суглинка, по вышеуказанному режиму резания. Здесь следует отметить, что режущий орган располагается в промежуточной области, так как:  $\beta_0 < \beta < \beta_1$ . При  $\varphi = 20^\circ$ ,  $\varphi_0 = 18^\circ$   $\beta_0 = 44^\circ$ ,  $\beta_1 = 63^\circ$ , а  $\beta = 45^\circ$ .

Таблица 1

Физико-механические свойства и значения опытной и теоретической сил резания

Наименование грунта	Объемный вес, $\gamma$ , Н/м <sup>3</sup>	Сцепление Н/м <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения, $\varphi$ , °	Опытная сила резания, $P_{сп}$ , кН	Теорет. полная сила резания, $P_{пол}$ , Н	Теорет. гориз. сила резания $P_{гор}$ , Н	Расхождение, %
Суглинок	17658	32000	20	2700	3287	- 2929	17,9 7,8

Анализ данных табл.1 показывает, что расхождение между значениями экспериментальной силы резания и полной силой резания составляет 17,9%, а расхождение между экспериментальной силой резания и горизонтальной силой резания составляет 7,8%.

**Литература:**

1. Тургунбаев М.С. Разрушение однородных грунтов. Материалы международной научно-практической конференции «Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники» (1-том). - Алматы, 2010. - с. 163-167.
2. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды., Гостехтеориздат, 1954.
3. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М.: Машиностроение, 1971. 359 с.
4. Тургунбаев М.С., Шамуратов К.Т. Стенд для исследования процесса резания грунтов. Патент на полезную модель Кыргызской Республики №113 от 30.08.2010.

**Рецензент: д.т.н., профессор Жылкычиев А.И.**

---