

Тургунбаев М.С.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА, СОДЕРЖАЩЕГО КРУПНООБЛОМОЧНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ**

*M.S. Turgunbaev*

**THEORETICAL BASE OF THE DETERMINATION OF POWER OF DESTRUCTION RESISTANCE OF GROUND WITH STONE OF THE SOIL BASE INCLUDES CONTAINING OF LARGE GROUND OF SOIL**

УДК:621.879.06

*Рассмотрены теоретические основы определения силы разрушения грунта, содержащего крупнообломочное включение на основе теории предельного равновесия сыпучей среды.*

*Theoretical base of determination power destructionuni form soil are considered on base of the theories limited balance of the loose ambience.*

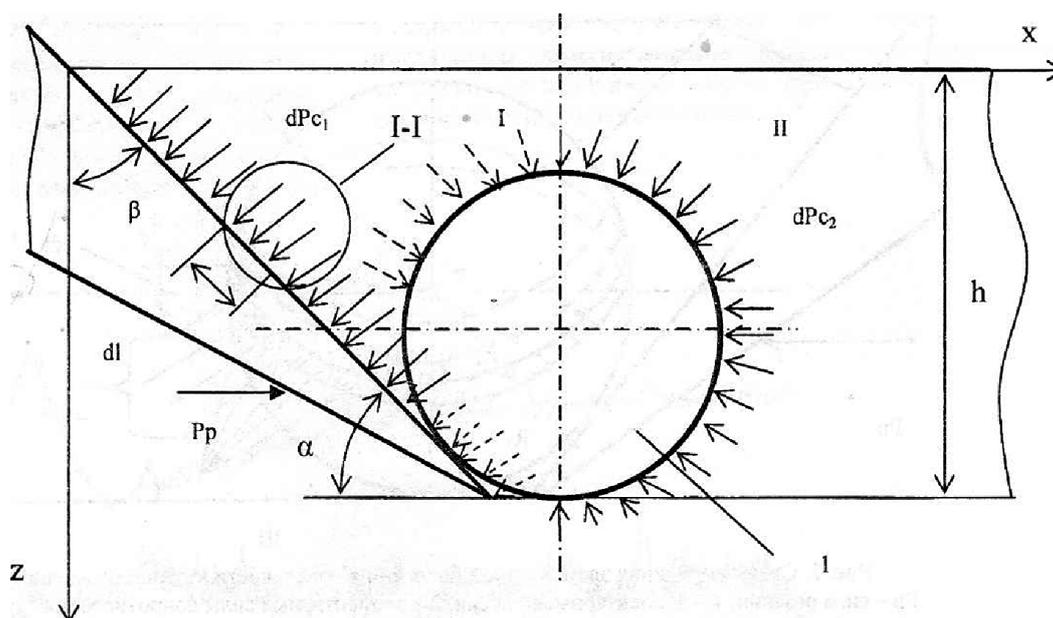
Расчетная схема грунта с каменным включением при воздействии на него режущего органа землеройной машины показана на рис. 1. Режущий орган землеройной машины клиновидной формы, воздействуя на грунт под углом резания  $\alpha$ , доводит его до предельно напряженного состояния. При этом грунту со стороны режущего органа оказывается, так называемое пассивное давление.

Теоретическое определение силы разрушения грунта, содержащего каменное включение, базируется на теории предельного равновесия сыпучей среды [1].

Сила разрушения грунта, содержащее каменное включение, уравнивается силами сопротивления грунта разрушению (рис.1). Тогда:

$$P_p = P_c \quad (1)$$

где  $P_p$  - сила разрушения грунта,  $P_c$  - сила сопротивления грунта разрушению.



**Рис. 1.** Расчетная схема для определения силы разрушения грунта, содержащего каменное включение:

1 - крупнообломочное каменное включение грунта;  $P_p$  - сила разрушения грунта;  $dP_c$  - элементарные силы сопротивления грунта разрушению;  $d_l$  - элементарная длина режущего органа;  $\alpha$  - угол резания;  $\beta$  - угол между режущим органом и вертикальной плоскости;  $h$  - глубина резания.

Из рис.1 видно, что поверхности рабочего органа и каменного включения имеют разные геометрические формы, и соответственно необходимо учитывать влияние этих особенностей на предельное напряженное состояние грунта. В предельно равновесно напряженном состоянии, условно выделяются 2 зоны напряженного состояния грунта:

1. зона ограниченная, с одной стороны - поверхностью режущего органа, а с другой стороны - вертикальной осью симметрии каменного включения грунта (первая зона);
2. зона ограниченная, с одной стороны - вертикальной осью симметрии каменного включения грунта, а с другой стороны - поверхностью разрушения-сдвига грунта (вторая зона).

Эти выделенные 2 зоны учитывают влияние особенностей поверхности рабочего органа и каменистого включения на напряженное состояние грунта. Отсюда сила сопротивления грунта разрушению состоит также из двух составляющих; из силы сопротивления грунта разрушению на поверхности режущего элемента –  $P_{c1}$  и из силы сопротивления фунта разрушению на поверхности каменистого включения -  $P_{c2}$ . Отсюда, имеем выражение:

$$P_c = P_{c1} + P_{c2} \quad (2)$$

где  $P_{c1}$ , - сила сопротивления грунта разрушению на поверхности режущего элемента (первая зона);  $P_{c2}$  - сила сопротивления грунта разрушению на поверхности каменистого включения (вторая зона).

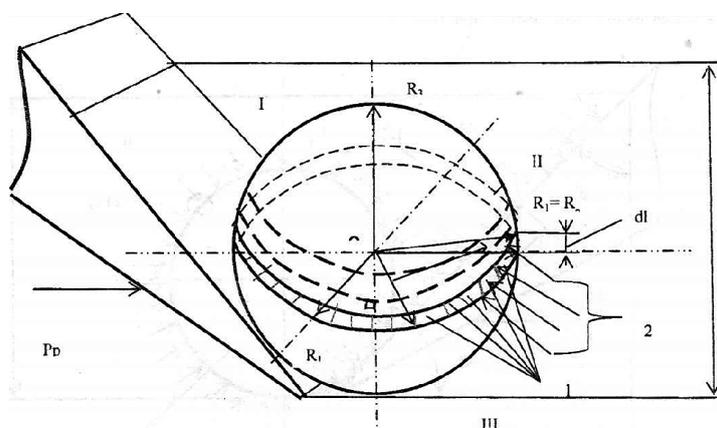
В нашем случае, крупнообломочное каменистое включение грунта представляет собой, шаровидную крупнообломочную частицу, у которой  $R_1 = R_2 = R_3$ .

Сила сопротивления грунта разрушению на поверхности каменистого включения -  $P_{c2}$  зависит, в первую очередь от геометрического размера, т.е. от радиуса каменистого включения грунта. Эта сила равняется нулю, когда радиус камня равен нулю, т.е.  $P_{c2} = 0$ , когда  $R_k = 0$ . Если радиус камня равен к нулю, то в этом случае грунт не содержит каменистое включение, мы имеем только однородный грунт. Тогда предельно напряженное состояние грунта при воздействии рабочего органа землеройной машины состоит из первой зоны, и сила разрушения грунта уравнивается только силой сопротивления грунта разрушению однородного грунта. Сила сопротивления разрушению однородного грунта -  $P_{c3}$  нами теоретически была определена в работе /1/.

$$P_{c1} = \sqrt{\left(m - \frac{hH}{\sin \alpha}\right)^2 + m^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_0} \cdot (\sin \alpha \cos \varphi_0 + \cos \alpha \sin \varphi_0) \cdot b \cdot \eta_{rp} \quad (3)$$

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

Для определения  $P_{c2}$ , поверхность крупнообломочного каменистого включения фунта разбиваем на элементарные поверхности с целью приложения к ним элементарные силы сопротивления фунта разрушению (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема выделения элементарной полоски на поверхности крупнообломочного включения:  $P_p$  - сила резания; 1 - элементарные полоски; 2 - элементарные силы сопротивления грунта разрушению;  $R_1 R_2 R_3$  - радиусы каменистого включения; I, II, III - зоны поверхности каменистого включения.

Рассмотрим схему выделения элементарной площадки на сферической поверхности крупнообломочного включения фунта в виде шара. Для этого (рис. 2):

1. Разбиваем поверхность крупного обломка на элементарные полоски. Для достижения этой цели поворачивают радиус  $R_1$  относительно точки  $O$  на  $2\pi$ , т.е. радиус  $R_1$  совершает один полный оборот в плоскости перпендикулярной плоскости чертежа. Полученный круг представляет собой основание половины шара;

2. Поворачиваем радиус  $R_1$  относительно горизонтальной оси на угол  $\theta$  в плоскости чертежа против хода часовой стрелки;

3. В этом положении поворачиваем радиус  $R_1$  вокруг точки  $O$  на угол  $\pi$ , т.е. радиус  $R_1$  опять совершает один полуоборот в плоскости перпендикулярной плоскости чертежа. В результате этих действий на сферической поверхности шара получаем полоску длиной  $\pi r$ , и шириной  $dl$ . Длина каждой последующей полуокружности усеченного конуса уменьшается на величину  $\Delta C$ :

4. Дальнейший постепенный поворот радиуса  $R_1$  с определенным шагом  $\theta$  относительно горизонтальной оси от  $0$  до  $\pi/2$  против хода и по ходу часовой стрелки разбивает поверхность каменистого включения на элементарные полоски высотой  $dl$ .

Теперь, на выделенные элементарные полоски можно приложить элементарные силы сопротивления грунта разрушению. Из рис.2 видно, что в момент наступления предельного напряженного состояния режущий элемент (зона I) оказывает пассивное давление на массив грунта. Напряженное состояние грунта вокруг половины каменистого включения, находящейся в первой зоне, учитывается напряженным состоянием грунта первой зоны. А другая половина каменистого включения (зона II) также испытывает пассивное давление со стороны грунта. Нижняя часть каменистого включения (зоны III) состоит из множества так называемых ломаных элементарных полосок. Далее рассмотрим расчетную схему, приведенную на рис.3. Сила сопротивления разрушению на поверхности крупнообломочного включения представляет собой сумму элементарных сил сопротивления:

$$P_{c2} = \sum dP_c \quad (4)$$

где  $dD_n$  - элементарные силы сопротивления разрушению на поверхности каменистого включения.

Эта элементарная сила определяется по формуле:

$$dP_c = dE \cdot dF \quad (5)$$

где  $dE$  - пассивное давление грунта;  $dF$  - площадь элементарной полоски на поверхности крупнообломочного включения.

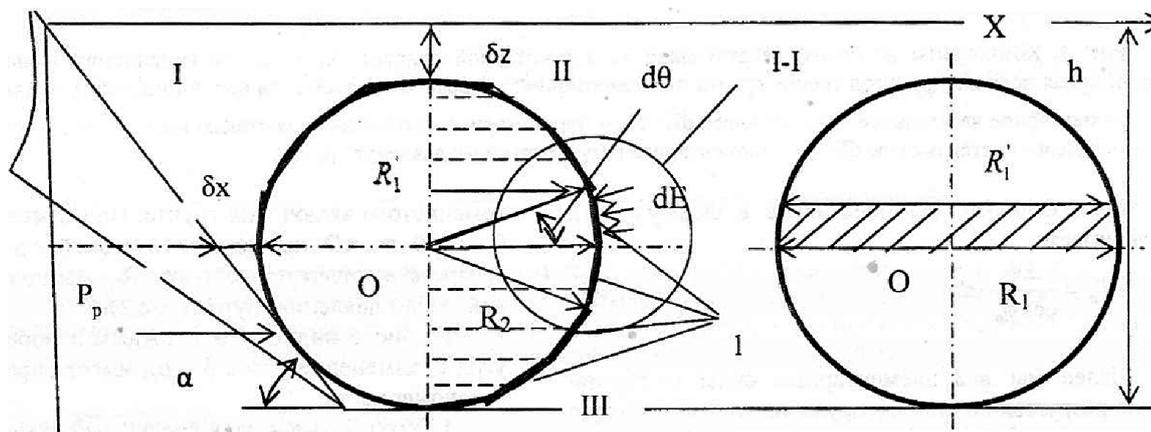


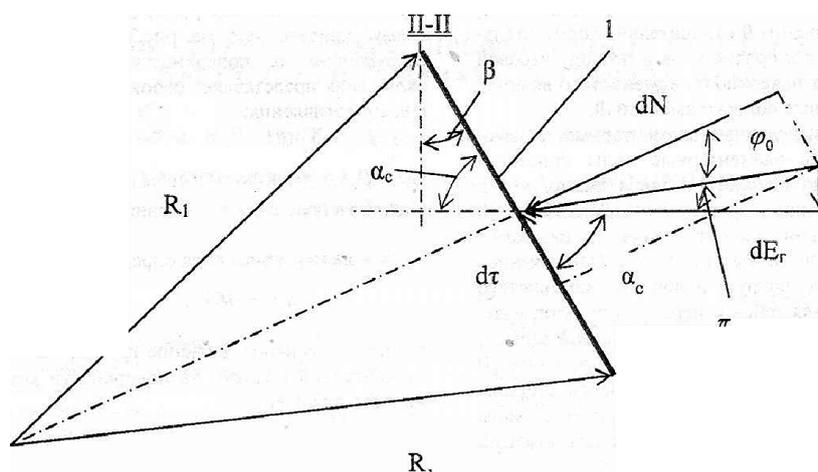
Рис. 3. Расчетная схема для определения силы резания грунта, содержащего крупнообломочное каменистое включение:

$\delta x$  - расстояние между поверхностью режущего элемента и каменистого включения;  $\delta z$  - расстояние между дневной поверхностью и каменистого включения грунта;  $\theta$  - элементарный угол поворота;  $R_1, R_2$  - радиусы каменистого включения;  $l$  - элементарные полоски; I, II, III- зоны действия давлений грунта;  $dE$  - элементарное давление;  $P_p$  - сила разрушения грунта.

Для определения, какие составляющие полного давления грунта действуют, на элементарную полоску поверхности крупнообломочного включения рассмотрим рис.4. Из рис.4 следует, что полное давление грунта состоит из следующих составляющих: нормальное, касательное, вертикальное и горизонтальное. Нормальное и касательное составляющие полного давления грунта определены В.В.Соколовским в работе [2]. Результирующее давление грунта выражается через нормальное давление следующим образом:

$$dE = \frac{dN}{\cos j_0} \quad (6)$$

где  $dN$  - нормальное составляющее полного давления грунта.



**Рис. 4.** Компоненты давления, действующие на элементарной полоске:  $R_1$  - радиус каменного включения,  $l$  - элементарная полоска;  $\varphi_0$  - угол трения грунта по элементарной полоске;  $dN$  - элементарное нормальное составляющее  $dE$ ;  $dt$  - элементарное касательное составляющее  $dE$ ;  $dE_v$  - элементарное вертикальное составляющее  $dE$ ;  $dE_g$  - элементарное горизонтальное составляющее  $dE$ ;  $dE$  - элементарное результирующее давление грунта.

Если формулу (5) подставить в формулу (4), тогда имеем:

$$dP_c = \frac{dN}{\cos \varphi_0} \cdot dF \quad (7)$$

Далее мы все элементарные силы сопротивления разрушению спроектируем на горизонтальную ось.

Горизонтальная проекция элементарных сил сопротивления разрушению представляет собой (рис.4):

$$dP_{c_x} = dP_c \cos \psi = dP_c (\sin \alpha_c \cos \varphi_0 + \cos \alpha_c \sin \varphi_0) \quad (8)$$

Если формулу в (7) подставить формулу (6), тогда получим следующее выражение:

$$dP_{c_x} = dN (\sin \alpha_c + \cos \alpha_c \operatorname{tg} \varphi_0) dF \quad (9)$$

Тогда сила сопротивления разрушению на поверхности каменного включения определяется по формуле:

$$P_{c_2} = \sum dN (\sin \alpha_c + \cos \alpha_c \operatorname{tg} \varphi_0) dF \quad (10)$$

Теперь для определения угла  $\alpha_c$  рассмотрим схему, приведенную на рис. 5.

Вначале значение угла  $\theta$  задается постоянным, т.е задается шаг. Диапазон изменения угла  $\theta$  равняется от 0 до  $\pi/2$ . При каждом шаге  $\theta$ , радиус  $R_1$  совершает поворот на угол  $\pi$ . В результате этого мы получаем элементарные полоски на поверхности

каменного включения грунта. При изменении угла  $\theta$  от 0 до  $\pi/2$  против хода часовой стрелки, при соответствующем повороте  $R_1$ , мы получим зону действия I давления грунта (рис.2).

Из рис. 5 видно, что с каждым поворотом  $R_1$  на угол  $\theta$ , изменение углов  $\beta$  и  $\alpha_c$  имеет определенную закономерность:

1. Угол  $\beta$  изменяется следующей зависимостью:

$$\beta_i = n_i \theta \quad (11)$$

где  $n_i = 0,5; 1,5; 2,5; \dots$

Верхней границей угла  $\beta$  устанавливается  $\pi/2$ .

2. Угол  $\alpha_c$  определяется зависимостью:

$$\alpha_{c_i} = \frac{\pi}{2} - \beta_i \quad (12)$$

Площадь элементарной полоски определяется формулой:  $dF = dl \cdot \frac{C}{2}$  (13)

где  $dl$  - высота элементарной полоски,  $C$  - длина элементарной полоски. Так как только половина каменного включения, которая находится во второй зоне, оказывает на грунт пассивное давление, в формуле (13) берется половина длины элементарной полоски.

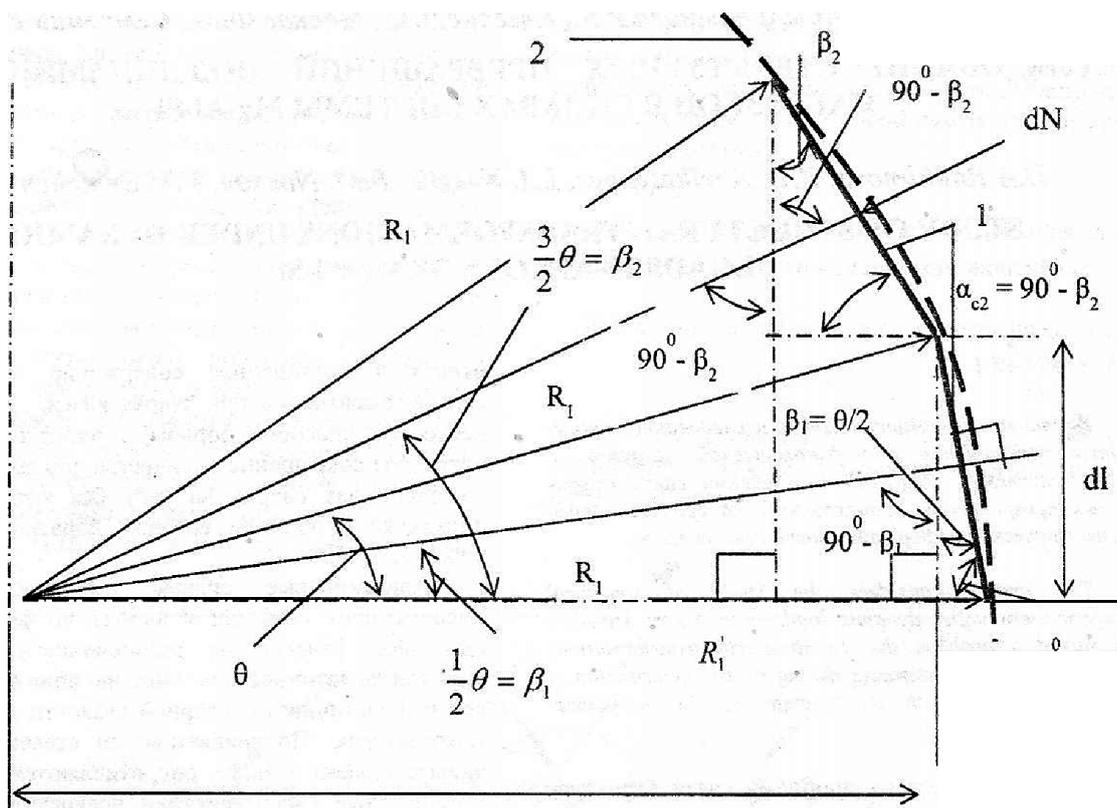


Рис. 5. Схема, показывающая зависимость изменения элементарной подпорной стенки от поворота радиуса  $R_1$ :  $R_1$  - радиус каменной частицы; 1 - элементарные подпорные стенки; 2 - профиль поверхности каменного включения;  $\beta$  - угол, определяющий расположения подпорной стенки относительно вертикальной оси,  $\theta$  - угол поворота радиуса  $R_1$  относительно горизонтальной оси.

Высота элементарной подпорной стенки (рис.4) определяется по формуле:

$$dl = 2R_1 \sin \frac{\theta}{2} \quad (14)$$

Длина элементарной полоски определяется:

$$C = 2\pi R_1' \quad (15)$$

где  $R_1'$  - проекция  $R_1$  на горизонтальную ось. С каждым последующим поворотом радиуса  $R_1$  на угол  $\theta$  относительно горизонтальной оси, уменьшение  $R_1$  составляет величину:

$$R_1' = R_1 \cos n_i \theta \quad (16)$$

где  $n_i = 0,5; 1,5; 2,5; \dots$

Тогда площадь элементарной полоски определяется формулой:

$$dF = 2\pi R_1'^2 \sin \frac{\theta}{2} \cos n_i \theta \quad (17)$$

В формулу (10) подставляем (17), и в этом случае сила сопротивления грунта разрушению на поверхности каменного включения определяется:

$$P_{c2} = 2\pi R_1'^2 \sum dN (\sin \alpha_c + \cos \alpha_c \operatorname{tg} \varphi_0) \sin \frac{\theta}{2} \cos n_i \theta \quad (18)$$

Теперь сила разрушения грунта, содержащего каменное включение, определяется формулой:

$$E_d = \left( \sqrt{\left( m - \frac{hH}{\sin \alpha} \right)^2 + m^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_0} \right) \cdot (\sin \alpha \cos \varphi_0 + \cos \alpha \sin \varphi_0) \cdot b \cdot \eta_{\text{об}} + \quad (19)$$

$$+ 2\pi R_1'^2 \sum dN (\sin \alpha_c + \cos \alpha_c \operatorname{tg} \varphi_0) \sin \frac{\theta}{2} \cos n_i \theta$$

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

#### Литература:

1. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды, Гостехтеориздат, 1954.
2. Тургунбаев М.С. Теоретическое определение силы резания однородного шунта. Сборник научных трудов ТалГУ, 2013 г.
3. Алиев И.И. Краткий справочник по математике. - М.: Радиософт, 2006. - 190 с.

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