

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ГРУНТОВ С КАМЕНИСТЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Бул макалада таш аралашкан кыртышты кесүүгө кеткен күчтөрдү аныктоо суроолору каралган.

В данной статье рассмотрены вопросы определения силы резания грунтов с каменными включениями.

In given article questions of definition of force of cutting grunt with stone inclusions are considered.

Основная часть землеройных машин разрабатывает грунт по принципу резания грунтов, срезая при этом слой грунта от основного массива грунта.

Под резанием грунта понимают процесс отделения стружки от массива грунта с помощью режущего органа землеройных машин – клина. Клины бывают простой и сложной геометрической формы.

Установлено, что разрушение грунта происходит в результате сдвига грунта относительно неподвижной части по поверхностям скольжения.

Воздействие режущего органа землеройных машин на грунт геометрически уподобляется надвиганию подпорной стены к массиву грунта. В «Механике грунтов» при этом определяются максимальные нагрузки со стороны массива грунта для нарушения равновесия подпорной стены. А задачами исследователей в области резания грунтов являются, наоборот, определения условий минимальной затраты энергии режущего элемента для разрушения грунтов.

Теоретическое определение отделения определенного объема грунта от массива, а также сопротивление грунта разрушению базируется на теории предельного напряженного состояния сыпучей среды.

Расчетными схемами грунтов являются идеальная сыпучая и связная сыпучая среды. Расчетными показателями сопротивления грунта к сдвиговым разрушениям

являются: объемный вес и сцепление связной среды, угол внутреннего трения между частицами грунта и угол трения сыпучей среды по поверхности режущего органа.

Расчетная схема грунта с каменистым включением при воздействии на него режущего органа землеройной машины показана на рис.1.

Если принять напряженное состояние по ширине режущего органа землеройной машины одинаковым, то решение задачи можно рассматривать в плоскости. Определение силы резаний грунта производится на единице ширины режущего органа землеройной машины.

Режущий орган землеройной машины воздействует на грунт под углом резания α . При этом угол режущего органа с вертикальной плоскости составляет β .

В зависимости от наклона задней поверхности подпорные стены разделяются на крутые и промежуточные, у которых задняя грань служит одной из поверхностей скольжения, а также на пологие, у которых обе поверхности скольжения проходят внутри сыпучего тела [1]. При этом, в случае горизонтальной поверхности засыпки, к крутым относятся подпорные стены, у которых (при отсутствии сцепления) задняя грань составляет с вертикалью угол:

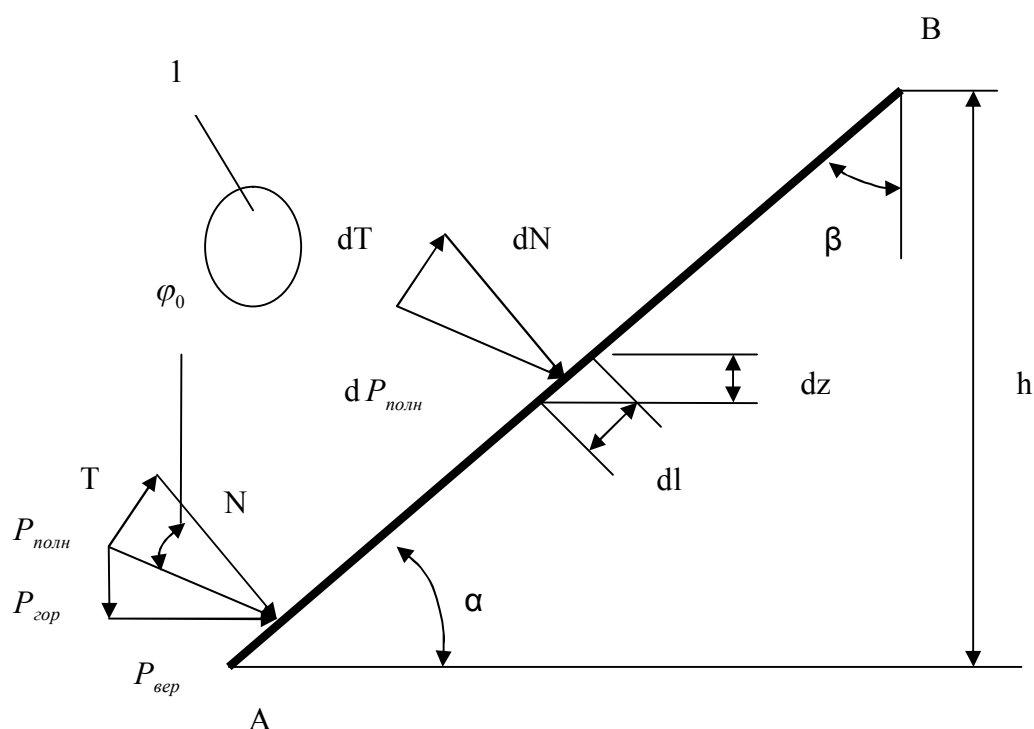


Рис.1. Расчетная схема определения силы резания грунтов с каменистым включением

$$\beta \leq 0,5 \arcsin \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi} - 0,5 \varphi_0, \quad (1)$$

где φ – угол внутреннего трения; φ_0 – угол трения грунта по подпорной стене.

Для крутых подпорных стен угол отклонения полного давления от нормали равняется углу трения грунта по стенке φ_0 /4/.

Диапазон изменения угла наклона режущего элемента землеройных машин при соответствующих значениях углов внутреннего трения грунта, трения грунта по рабочему органу относится к крутым и промежуточным подпорным стенам /2/.

На наклонной плоскости режущего органа выделяется элементарный участок $d(AB)=dl$. Если учесть единичную ширину режущего органа, то получится элементарная площадь: $dF = dl \cdot b$, где $b = 1$ м. Так как решение задачи рассматривается в плоскости, то будем учитывать только элементарную длину режущего органа dl .

Сначала определяется сила резания для однородного грунта, а в дальнейшем принимается во внимание влияние каменистых включений – 1 (рис.1) на силу резания грунта.

На элементарный участок режущего органа со стороны грунта действуют элементарные нормальная dN и касательная dT составляющие полного давления.

$$dN = \sigma \cdot dl ;$$

(2)

$$dT = \tau \cdot dl ,$$

(3)

где σ и τ – соответственно нормальное и касательное напряжения.

Нормальное напряжение для промежуточных граней или подпорных стен определяется по формуле /2/

$$\sigma = a\gamma z + aCctg\varphi - Cctg\varphi ,$$

(4)

где γ – объемный вес грунта; g – ускорение силы тяжести; C – сцепление в грунте;

$$a = \frac{\cos \varphi_0 (\cos \varphi_0 + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0})}{\cos^2 \varphi (1 - \sin \varphi)} \cdot \left(\sin \varphi \cos \chi + \sqrt{1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \chi} \right)^2 ,$$

$$\chi = 90^\circ + \beta - 0,5\varphi_0 - 0,5 \arcsin \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi} .$$

Условие предельного состояния связной сыпучей среды выражается зависимостью /4/:

$$\tau = (\sigma + Cctg\varphi) \cdot tg\varphi_0 .$$

(5)

По этой зависимости предполагается сцепление связного грунта с воздействующим на него элементом. В работе /2/ показано, что для условий резания грунтов можно принять угол трения сыпучей среды с режущим органом равным углу внутреннего трения $\varphi_0 \approx \varphi$.

Тогда касательное напряжение определяется:

$$\tau = (\sigma + Cctg\varphi) \cdot tg\varphi .$$

(6)

Наклонная поверхность режущего органа и глубина залегания грунта связаны следующей зависимостью:

$$dz = dl \cdot \sin \alpha .$$

Отсюда:

$$dl = \frac{dz}{\sin \alpha} . \quad (7)$$

Для нахождения составляющей нормального напряжения по глубине резания проинтегрируем выражение (2) по h. Тогда:

$$dN = \sigma \cdot dl = \sigma \cdot \frac{dz}{\sin \alpha} ;$$

$$\int_0^h dN = \int_0^h (a\gamma gz + aCctg\varphi - Cctg\varphi) \frac{dz}{\sin \alpha} = \frac{1}{\sin \alpha} [0,5ah^2\gamma g + hCctg\varphi(a-1)];$$

$$N = \frac{1}{\sin \alpha} [0,5ah^2\gamma g + hCctg\varphi(a-1)];$$

(8)

$$N^2 = \frac{1}{\sin^2 \alpha} (0,25a^2h^4\gamma^2g^2 + a^2h^3\gamma gCctg\varphi - ah^3\gamma gCctg\varphi + a^2h^2C^2ctg^2\varphi - 2ah^2C^2ctg^2\varphi + h^2C^2ctg^2\varphi)$$

Для нахождения составляющей касательного напряжения по глубине резания проинтегрируем выражение (3) по h. Тогда имеем:

$$\int_0^h dT = \int_0^h (\sigma tg\varphi - Cctg\varphi tg\varphi) \frac{dz}{\sin \alpha} = \frac{ah}{\sin \alpha} (0,5h\gamma g tg\varphi + C);$$

$$T = \frac{ah}{\sin \alpha} (0,5h\gamma g tg\varphi + C);$$

(9)

$$T^2 = \frac{1}{\sin^2 \alpha} (0,25a^2h^4\gamma^2g^2tg^2\varphi + a^2h^3\gamma gCctg\varphi + a^2h^2C^2).$$

Составляющая полного давления определяется формулой:

$$P_{полн} = \sqrt{N^2 + T^2} .$$

(10)

$P_{полн} =$

$$\sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha} [0,25a^2h^4\gamma^2g^2(1+tg^2\varphi) + a^2h^3\gamma gC(ctg\varphi + tg\varphi) - ah^3\gamma gCctg\varphi + h^2C^2ctg^2\varphi(a^2 - 2a + 1) + a^2h^2C^2]}$$

(11)

Определяем горизонтальную и вертикальную составляющие полного давления:

1. Горизонтальная составляющая равна:

$$P_{гор} = P_{полн} \cdot \cos \varphi_0. \quad (12)$$

2. Вертикальная составляющая равна:

$$P_{вер} = P_{полн} \cdot \sin \varphi_0. \quad (13)$$

Отношение вертикальной составляющей к горизонтальной равно:

$$\frac{P_{вер}}{P_{гор}} = \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (14)$$

Пространственность процесса резания грунтов учитывается посредством коэффициента пространственности /3/.

Коэффициент пространственности процесса резания грунтов определяется:

$$\eta_{пр} = \begin{cases} 1, & \text{при свободном резании,} \\ 1 + 0,5 \cdot \frac{P_{бок}}{P_{ср}} + 0,5 \cdot \frac{P_{бок,ср}}{P_{ср}} & \text{при полублокированном резании,} \\ 1 + \frac{P_{бок}}{P_{ср}} + \frac{P_{бок,ср}}{P_{ср}} & \text{при блокированном резании} \end{cases} \quad (15)$$

где $P_{бок}$ – сила резания в боковых расширениях прорези; $P_{бок,ср}$ – сила среза в боковых гранях режущего элемента; $P_{ср}$ – сила резания в средней части режущего элемента.

Влияние каменистых включений грунтов на силы резания учитывается введением коэффициента $\eta_{кам}$, который учитывает количественную и качественную стороны содержания крупных обломков в грунте.

Сила резания грунтов, содержащих каменистые включения, острым режущим органом при установившемся режиме на глубине резания h и шириной резания b определяется по формуле

$$P_{полн} = \frac{1}{\sin^2 \alpha} \left[0,25a^2h^4\gamma^2g^2(1 + \operatorname{tg}^2\varphi) + a^2h^3\gamma C(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{tg}\varphi) - ah^3\gamma C \operatorname{ctg}\varphi + h^2C^2 \operatorname{ctg}^2\varphi(a^2 - 2a + 1) + a^2h^2C^2 \right] \cdot \cos \varphi_0 \cdot b \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{кам} \quad (16)$$

Список литературы

1. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 153 с.
2. Ветров Ю.А. Резание грунтов (теория предельного напряженного состояния).

3. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1971. – 359 с.
4. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: Гостехтеориздат, 1954.