

Моделювання робочих процесів машин

УДК 624.132.3

М.К. Сукач, д.т.н., професор;
Ю.П. Филонов, к.ф.-м.н., доцент;
Р.Ю. Новиков (КНУСА, Киев)

МОДЕЛЬ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА ПРИ ЩЕЛЕВОМ РЕЗАНИИ

АНОТАЦІЯ. Розглянуто модель різання ґрунту в умовах його пластичного деформування перед лобовою гранню ножа і відсутності ядра ущільнення. Визначені діапазон кутів різання за даним типом, умови утворення пластичної зони. Складено основні рівняння процесу; отримано залежності, які зв'язують характеристики ґрунтового середовища з геометричними параметрами ножа.

Ключові слова: ґрунт, ніж, пластичне деформування, кут різання, ядро ущільнення

АННОТАЦИЯ. Рассмотрена модель резания грунта в условиях его пластического деформирования перед лобовой гранью ножа и отсутствия ядра уплотнения. Определены диапазон углов резания по данному типу, условия образования пластической зоны. Составлены основные уравнения процесса; получены зависимости, связывающие характеристики грунтовой среды с геометрическими параметрами ножа.

Ключевые слова: грунт, нож, пластическая деформация, угол резания, ядро уплотнения

SUMMARY. The model of cutting of soil is considered in the conditions of his flowage before the frontal verge of knife and absence of kernel of compression. Certain range of corners of cutting on this type, condition of formation of plastic zone. Worked out basic equations of process, dependences are got, binding by descriptions of the ground environment of c the geometrical parameters of knife.

Key words: soil, knife, plastic deformation, cutting comer, kernel of compression

Введение

Ранее, в модели щелевого резания [1, 2], рассматривались случаи деформирования грунта перед лобовой гранью ножа, когда при углах резания δ , превышающих определенную величину $\bar{\delta}$, на его лобовой поверхности возникает ядро уплотнения (нарост грунта). Естественно, эта величина зависит от физико-механических свойств грунтовой среды, геометрических параметров ножа, тягового усилия на рабочем органе землеройной машины. Согласно указанной модели резание грунта происходит ядром уплотнения на ноже (зона i , на рис. 1 б, г). Угол поворота ножа в плане γ , как правило, не превышает значения 45° , хотя с меньшей точностью может быть определен и для больших углов.

Цель исследования

В настоящей работе будем рассматривать случай возникновения пластической зоны деформации грунта в области ножа,

которая не движется вместе с ножом, а деформируясь, выпирает перед ним, постепенно уплотняясь по мере его движения. То есть из возможных вариантов деформирования грунта рассмотрим вариант, показанный на рис. 1 в (пластическое деформирование суглинка широким плоским ножом).

Изложение основного материала

1. Построение модели пластической деформации грунта

Воспользуемся обозначениями и формулами работы [1]. Условие равновесия грунта над лобовой поверхностью ножа, в соответствии с [1, (21)],

$$u = \delta'' g, \quad (1)$$

а при отсутствии пластического выпора [1, (15)]

$$\frac{\delta'(\delta' + \mu')}{1 - \delta'\mu'} \leq u. \quad (2)$$

Здесь приняты следующие соотношения.
По [1, (10)]:

$$u = u(t) = \frac{t}{2} \left(1 + \frac{5}{6} t \right); \quad (3)$$

по [1, (20)]:

$$\delta'' = \frac{\delta'}{\gamma'(1 - \mu'\delta')}; \quad (4)$$

по [1, (13)]:

$$\delta' = \operatorname{tg} \delta; \quad \gamma' = \cos \gamma; \quad \mu' = \frac{f \operatorname{tg} \mu}{\cos \gamma};$$

по [3, (14)]:

$$f = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cos^2 \delta}.$$

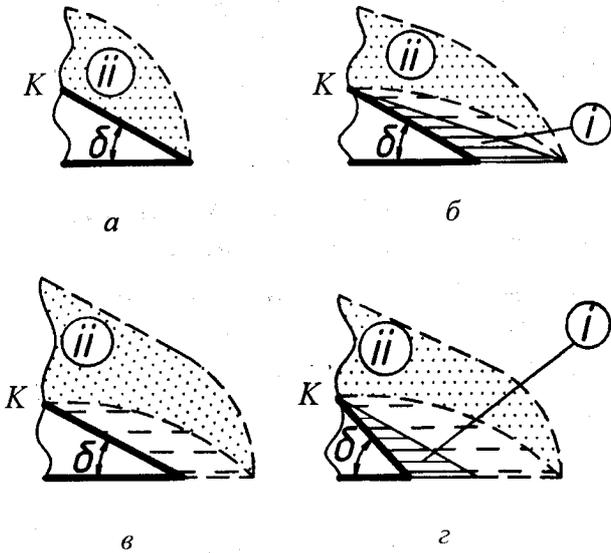


Рис. 1. Варианты деформирования грунта перед лобовой гранью ножа:

a – начало формирования пластической зоны при малых углах резания; *б* – ядро уплотнения на поверхности ножа; *в* – развитие пластической зоны перед ножом; *г* – общий случай напряженного состояния грунта в области резания; *i* – ядро уплотнения; *ii* – область пластического разрушения

В этих зависимостях:

δ – угол резания грунта; μ – угол внешнего трения грунта по ножу; t – безразмерная величина, характеризующая давление грунта на ноже [1, (3)],

$$t = 1 - e^{-kh} = \frac{\omega_0 - \omega}{1 + \omega_0};$$

k – коэффициент, зависящий от типа грунта и формы ножа [1]; h – высота зоны разрушения грунта над верхней кромкой ножа; ω – пористость грунта на верхней кромке ножа (в точке K), при которой начинает формироваться ядро уплотнения; ω_0 – минимальное значение активной пористости; γ – угол поворота ножа в плане.

Из формулы [1, (20)]

$$g = g(t) = \frac{m}{t} + n \left(1 + \frac{t}{6} \right), \quad (5)$$

где $m = \frac{2ac}{1 + \omega_0}$; $n = \operatorname{tg} \theta$; c – сцепление

грунта; θ – его угол внутреннего трения; a – коэффициент уплотнения грунта, $-a = \frac{\Delta \omega}{\Delta \sigma}$; σ – давление грунтовой среды; $\Delta \omega$, $\Delta \sigma$ – соответственно изменения пористости и давления грунта.

Параметр t , определяющий давление на лобовую поверхность ножа [1, (5)]

$$\left(G_B = \frac{t + \omega_i}{a} \right),$$

удовлетворяет неравенствам [1, (7), (8)]

$$0 \leq t \leq \bar{t} = \frac{\omega_i}{1 + \omega_0}; \quad 0,25 < \bar{t} < 0,44. \quad (6)$$

Поэтому далее упрощаем (5) и (3)

$$g = \frac{m}{t} + n; \quad (7)$$

$$u \approx 0,6t; \quad (8)$$

$$\mu' = \operatorname{tg} \mu. \quad (9)$$

Резание грунта при малых углах δ (в наших обозначениях – система (1) (2)), когда условия для образования ядра уплотнения не возникают, было изучено в работах [3, 4]. Как показано в модели [1], при увеличении угла резания δ , когда величина t достигает значения $t = \bar{t}$, при сохранении неравенства (2), начинает расти ядро уплотнения грунта без выпора пластической

зоны. Такой вариант резания грунта был рассмотрен в работах [1, 2].

Сейчас же будем рассматривать вариант, когда неравенство (2) превращается в равенство

$$\frac{\delta'(\delta' + \mu')}{1 - \delta'\mu'} = u \text{ при } t < \bar{t}. \quad (10)$$

В этом случае характер резания меняется – пластическая зона деформирования грунта выпирает вперед перед лобовой поверхностью ножа, т.е. происходит резание по типу (рис. 1, в). В некотором интервале углов резания обозначим $\delta_1 < \delta < \delta_2$. При углах $\delta > \delta_2$, как показано в работах [1, 2], появляется жесткое ядро, а при $\delta > \delta_1$ соотношения (1) и (2) уже не выполняются и надо составлять новую систему уравнений.

Таким образом, далее запишем условия резания по типу (рис. 1, в), найдем углы δ_1, δ_2 , составим систему основных уравнений, найдем размеры пластической зоны деформирования грунта, определим давление в зоне действия ножа и численно просчитаем все для типичного суглинка.

2. *Определение минимального угла резания и условий образования пластической зоны*

Как следует из указанных выше зависимостей, угол δ_1 входит в решение δ_1, t_1 системы (1), (10). Подставим значение u из (1) в (10) и, используя (4) и (7), получим

$$\frac{\delta'(\delta' + \mu')}{1 - \delta'\mu'} = \delta'' g = \frac{\delta'}{\gamma'(1 - \mu'\delta')} \left(\frac{m}{t} + h \right)$$

или, сократив,

$$\delta' + \mu' = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{m}{t} + h \right).$$

Последнее равенство, используя новые сокращения m', n' , запишем так:

$$\delta' + \mu'' = \frac{m}{t} + n', \quad (11)$$

$$\text{где } m' = \frac{m}{\gamma'}, \quad n' = \frac{n}{\gamma'}.$$

Найдем t из (11):

$$t = \frac{m'}{\delta' + \mu' - n'}. \quad (12)$$

Подставив в формулу (10) значения u из (8) и t из (12), получим

$$\frac{\delta'(\delta' + \mu')}{1 - \delta'\mu'} = 0,6 \frac{m'}{\delta' + \mu' - n'},$$

или

$$0,6 m'(1 - \delta'\mu') = \delta'(\delta' + \mu')(\delta' + \mu' - n'). \quad (13)$$

Уравнение (13), которое служит для нахождения угла δ_1 , можно уточнить, заменив в нем величину 0,6 на $\left(\frac{1}{2} \left(1 + \frac{5m'}{6(\delta'' + \mu' - n')} \right) \right)$.

В основных величинах оно имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{1,2ac}{(1 + W_0)\cos\gamma} (1 - \text{tg}\delta\text{tg}\mu) = \\ = \text{tg}\delta[\text{tg}\delta + \text{tg}\mu] \left[\text{tg}\delta + \text{tg}\mu - \frac{\text{tg}\Theta}{\cos\gamma} \right], \end{aligned} \quad (14)$$

где m', n' принимают из (11) и далее из (9), (4) и (5).

Значение $\delta = \delta_1$, являющееся корнем уравнения (14), и есть начальным углом резания, при котором начинается выпор пластической зоны грунта.

Это уравнение будет точнее, если $\text{tg}\mu$ заменить на $\mu' = \frac{\sqrt{1 - \sin^2\gamma\cos^2\delta}}{\cos\gamma} \text{tg}\mu$. Но

даже в этом варианте нужно искать явно упрощенное значение $\text{tg}\delta$, из-за сложности уравнения (14).

Из математики известно, что для кубического уравнения

$$Z^3 = (\alpha^{3/2} + Z)^2 \quad (15)$$

приближенное значение корня (занижение в среднем на 5 %): $z = 1 + \alpha$. Это можно вывести из рассмотрения следующего соотношения (его графическая интерпретация показана на рис. 2):

$$f(y) = \frac{1 + \alpha}{z} = \frac{1 + (z^{3/2} - z)^{2/3}}{z} = y^2 + (1 - y)^{2/3},$$

где $\left(y = \frac{1}{\sqrt{z}}\right)$ при $(0 \leq y \leq 1)$.

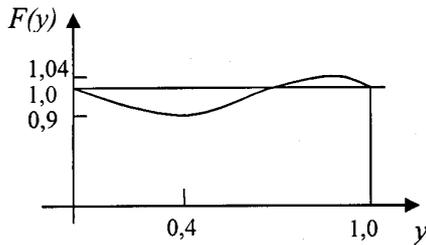


Рис. 2. График соотношения $f(y)$ приближенного и точного значений корней

Вернемся к уравнениям (10), (11) при $\mu' = 0$. Из (8) следует

$$(\delta')^2 = u = 0,6t \quad \text{и} \quad \delta' = \frac{m'}{t} + n'.$$

Исключая из этих равенств величину δ' , получим

$$\left(\frac{m'}{t} + n'\right)^2 = 0,6t \quad \text{или} \quad 0,6t^3 = (m' + n't)^2.$$

Это уравнение отличается от (15) только масштабами. Поэтому с той же погрешностью можно приближенно писать

$$t = \left(\frac{5}{3}m^{-2}\right)^{\frac{1}{3}} + \frac{5}{3}n^{-2}. \quad (16)$$

Если величину t рассматривать как функцию от параметров m' и μ' (практически их значения находятся в пределах нескольких десятых) – $t = t(\mu', m')$, то из фор-

мулы (16) можно найти $t(0, m')$, в частности $t(0, 0) = \frac{5}{3}(n')^2$.

Тогда из (16) следует:

$$t(0, m) - t(0, 0) = \left(\frac{5}{3}m'^2\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (17)$$

Запишем теперь уравнение для $t(\mu', 0)$, то есть при $m' = 0$:

$$0,6t = \frac{\delta'}{1 - \mu'\delta'} n'. \quad (18)$$

Оно получено из равенства (1) с учетом формул (8), (4), (7) при $m' = 0$; здесь применена сокращенная запись $n' = \frac{n}{\gamma'}$.

Далее, из (4) при $m' = 0$:

$$\delta' + \mu' = n'. \quad (19)$$

Определяя δ' из (19) и подставляя в (18), найдем $t = t(\mu; 0)$:

$$t(\mu', 0) = \frac{5}{3} \frac{n'(n' - \mu')}{1 - \mu'(n' - \mu')}. \quad (20)$$

По приближенной формуле параллелограмма

$$t(\mu', m') \approx t(\mu', 0) + t(0, m) - t(0, 0). \quad (21)$$

Из (20) и (17) получаем

$$t = t(\mu', m') = \frac{5}{3} \frac{n'(n' - \mu')}{1 - \mu'(n' - \mu')} + \left(\frac{5}{3}m'^2\right)^{\frac{1}{3}} K, \quad (22)$$

где $K = K(n') = 1$ при $\mu' = 0$, как предлагалось в выводе (17). Из формул (11) и (22) запишем значение угла

$$\delta' = n' - \mu' + \frac{m'}{\frac{5}{3} \frac{n'(n' - \mu')}{1 - \mu'(n' - \mu')} + \left(\frac{5}{3}m'^2\right) K}. \quad (23)$$

Проверим выражение (23) подстановкой в уравнение (13), с точностью до 2-го порядка по m' :

$$\begin{aligned} 0,6m'(1 - (n' - \mu')\mu') &= \\ &= (n' - \mu')n' \frac{m'}{5 \frac{n'(n' - \mu')}{3 \cdot 1 - (n' - \mu')\mu'}} \end{aligned}$$

после сокращения получаем $1=1$.

Определим $k = k(\mu')$ с точностью до первого порядка по μ' . Для этого рассмотрим подстановку (23) в (13) при больших m' (по сравнению с n'). Оставляя, старшие члены по m' , будем иметь

$$\delta' = \frac{m'}{\left(\frac{5}{3}m'^2\right)^{1/3} K} = \left(\frac{3m'}{5}\right)^{1/3} \frac{1}{K},$$

$$0,6m' \left(1 - \mu' \left(\frac{3}{5}m'\right)^{1/3} \frac{1}{K}\right) = \left[\left(\frac{3}{5}m'\right)^{1/3} \frac{1}{K}\right]^3$$

или

$$\begin{aligned} \left(1 - \mu' \left(\frac{3}{5}m'\right)^{1/3} \frac{1}{K}\right)^{1/3} &\cong \\ &\cong \left(1 - \frac{1}{3} \frac{\mu'}{K} \left(\frac{3}{5}m'\right)^{1/3}\right) = \frac{1}{K}, \end{aligned}$$

откуда находим $K = 1 + \frac{\mu'}{3} \left(\frac{3}{5}m'\right)^{1/3}$.

Здесь применено биномиальное приближение, так как для реальных значений параметров $a, c, \mu, \omega_0, \gamma$ у нас практически будет $\text{tg}^3 ac \leq 0,1(1 + \omega_0) \cos \gamma$, откуда $(\mu')^3 m' \leq 0,2$. Поэтому ошибка в последнем приближенном равенстве не превышает 4 %.

Теперь подставим K в (22) и получим окончательную формулу для $t = t_1$:

$$t_1 = \frac{5}{3} \frac{n'(n' - \mu')}{1 - \mu'(n' - \mu')} + \left(\frac{5}{3}m'^2\right)^{1/3} + \frac{\mu'm'}{3}. \quad (24)$$

Подставив $t = t_1$ в (23), получим формулу для вычисления угла резания δ'_1 (вернее для $\delta'_1 = \text{tg} \delta_1$):

$$\begin{aligned} \delta'_1 &= n' - \mu' + \\ &+ \frac{m'}{\frac{5}{3} \frac{n'(n' - \mu')}{1 - \mu'(n' - \mu')} + \left(\frac{5}{3}m'^2\right)^{1/3} + \frac{\mu'm'}{3}}. \quad (25) \end{aligned}$$

В основных величинах формулы для t_1 и δ_1 будет выглядеть так (после упрощений):

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{5}{3} \frac{\text{tg} \Theta (\text{tg} \Theta - \text{tg} \mu \cos \gamma)}{\cos^2 \gamma - \text{tg} \mu \text{tg} \mu \cos \gamma (\text{tg} \Theta - \text{tg} \mu \cos \gamma)} + \\ &+ \left(\frac{5}{3} \frac{4a^2 c^2}{(1 + \omega_0)^2 \cos^2 \gamma}\right)^{1/3} + \frac{2ac \text{tg} \mu}{3(1 + \omega_0) \cos \gamma}; \quad (26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tg} \delta_1 &= \frac{\text{tg} \Theta}{\cos \gamma} - \text{tg} \mu + \\ &+ \frac{6ac}{5(1 + \omega_0) \frac{\text{tg} \Theta (\text{tg} \Theta - \text{tg} \mu \cos \gamma)}{\cos \gamma - \text{tg} \mu (\text{tg} \Theta - \text{tg} \mu \cos \gamma)}} \rightarrow (27) \\ &\rightarrow \frac{1}{1 + \left(180(1 + \omega_0) \cos \gamma a^2 c^2\right)^{1/3} + 2ac \text{tg} \mu}. \end{aligned}$$

Условия развития процесса по мере увеличения угла резания по данному плану, то есть рост выпирающей зоны пластической деформации, а не жесткого нароста грунта на ноже, определяется условием $t_1 \leq \bar{t}$ (см. формулу (10) и далее). Так как мы нашли значение t_1 , то может быть записано условие такого типа резания:

$$\begin{aligned} \frac{5}{3} \frac{\text{tg} \Theta (\text{tg} \Theta - \text{tg} \mu \cos \gamma)}{\cos^2 \gamma - \text{tg} \mu \cos \gamma (\text{tg} \Theta - \text{tg} \mu \cos \gamma)} + \\ + \left(\frac{5}{3} \frac{4a^2 c^2}{(1 + \omega_0)^2 \cos^2 \gamma}\right)^{1/3} + \frac{2ac \text{tg} \mu}{3(1 + \omega_0) \cos \gamma} \leq \frac{\omega_0}{1 + \omega_0}, \quad (27') \end{aligned}$$

поскольку в соответствии с (6) $\bar{t} = \frac{\omega_0}{1 + \omega_0}$.

Это выражение можно представить и по-другому, используя для его записи справа

$$0,6\bar{t} \approx \bar{u} = \frac{6\omega_0 + 11\omega_0^2}{12(1 + \omega_0)^2} \quad \text{формулы (6), (8) и}$$

[1, (10)]:

$$\begin{aligned} & (1 + \omega_0) \frac{\operatorname{tg}\Theta(\operatorname{tg}\Theta - \operatorname{tg}\mu \cos \gamma)}{\cos \gamma - \operatorname{tg}\mu(\operatorname{tg}\Theta - \operatorname{tg}\mu \cos \gamma)} + \\ & + \left(1,2\sqrt{(1 + \omega_0)\cos \gamma ac}\right)^{2/3} + \quad (28) \\ & + 0,4act\operatorname{tg}\mu \leq \frac{6\omega_0 + 11\omega_0^2}{12(1 + \omega_0)^2} \cos \gamma. \end{aligned}$$

Так как данный процесс резания грунта (с образованием пластической зоны выпора) альтернативен рассмотренному в работах [1, 2] (с образованием ядра уплотнения), то вместо условия (28) можно использовать неравенство, обратное неравенству [2, (36')]:

$$\begin{aligned} & \bar{u} \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \mu} + \left(\frac{2ac}{\omega_0} + \operatorname{tg}\Theta\right) \operatorname{tg}\mu \cos \gamma (1 - \bar{u}) \geq \\ & \geq \left(\frac{2ac}{\omega_0} + \operatorname{tg}\Theta\right)^2 \quad (29) \end{aligned}$$

или $\bar{u} = \frac{6\omega_0 + 11\omega_0^2}{12(1 + \omega_0)^2} \approx 0,45\omega_0$.

3. Основные уравнения при резании грунта пластической зоной без ядра уплотнения

Как следует из формулы [1, (14)], соотношение размеров зоны деформации грунта

$$\frac{h'}{h} = \frac{\delta' + \mu'}{1 - \delta'\mu'}, \quad (30)$$

но теперь (см. рис. 3)

$$h' \geq l \cos \delta. \quad (31)$$

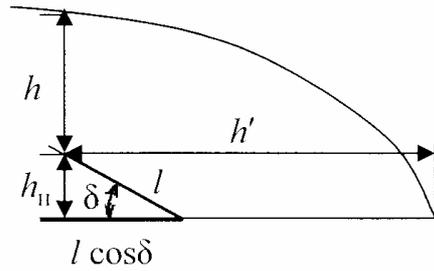


Рис. 3. Соотношение размеров пластической зоны деформации грунта

Предполагая линейность давления грунта вдоль лобовой грани ножа по высоте и вдоль выпора вперед пластической зоны, можно записать

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_B} = \frac{h' - l \cos \delta}{h'}, \quad (32)$$

где σ_B – давление у верхней кромки ножа, как и в работах [1 – 4]; σ_1 – давление у передней кромки ножа, которое в отличие от работ [1 – 4] не равно нулю.

Обозначив

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_B} = \varepsilon, \quad (33)$$

где $0 \leq \varepsilon < 1$ – следует из предыдущего и, применив формулы [1, (6), (10)] и (3), получим из (32), (30)

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 1 - \frac{h_n \operatorname{ctg} \delta}{h'} = 1 - \frac{h_n (1 - \delta'\mu') \operatorname{ctg} \delta}{h(\delta' + \mu')} = \\ &= 1 - u \frac{(1 - \delta'\mu') \operatorname{ctg} \delta}{(\delta' + \mu')}. \end{aligned}$$

Используя обозначение $\delta' = \operatorname{tg} \delta$, получаем **первое основное уравнение:**

$$1 - \varepsilon = u \frac{1 - \delta'\mu'}{\delta'(\delta' + \mu')}. \quad (34)$$

Среднее давление грунта на лобовую поверхность ножа σ_{cp} , в отличие от работ [1 – 4],

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_{\text{в}} + \sigma_1}{2} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{2}(1 + \varepsilon), \quad (35)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ – давление на верхней кромке ножа;
 σ_1 – давление на вершине пирамиды сдвига грунта; ε – соотношение величин $\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{в}}}$. В работе [3, (21)] была получена основная зависимость равновесия сил давления по вертикали для косоугольного резания грунта

$$l \cos \delta \frac{\sigma_{\text{в}}}{2} \left[1 - \frac{f \mu \text{tg} \delta}{\cos \gamma} \right] = \frac{h}{\cos \gamma} \left[c + \frac{\sigma_{\text{в}}}{2} \text{tg} \Theta \right],$$

где l – длина ножа.

Заменяя в этом уравнении слева $\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{2}$ на новое значение (35), напомним **второе основное уравнение** этой работы:

$$l \cos \delta \frac{\sigma_{\text{в}}}{2} (1 + \varepsilon) (1 - \mu' \delta') = \frac{h}{\gamma'} \left[c + \frac{\sigma_{\text{в}}}{2} n \right], \quad (36)$$

где использованы сокращения μ' , δ' , γ' .

Из формул (6), (10) работы [1] следует

$$\frac{l \cos \delta}{h} = \frac{h_{\text{н}} \text{ctg} \delta}{h} = u \text{ctg} \delta = \frac{u}{\delta'},$$

а из [1, (5)] и формулы (5) настоящей работы

$$\frac{2c}{\sigma_{\text{в}}} = \frac{2ac}{(1 + \omega_0)t} = \frac{m}{t}.$$

Тогда зависимость (36) с учетом (7), после упрощений, переписывается

$$\gamma' \frac{u}{\delta'} (1 + \varepsilon) (1 - \mu' \delta') = \frac{m}{t} + n = g,$$

а с учетом формулы (4),

$$u(1 + \varepsilon) = \delta'' g. \quad (37)$$

Это и есть самая краткая запись второго основного уравнения.

Перемножая (34) и (37) и несколько упрощая, можно заменить одно из основных уравнений на следующее:

$$(1 - \varepsilon^2)(\delta' + \mu') = \frac{g}{\gamma'}. \quad (38)$$

Точная зависимость давления $\sigma_{\text{в}}$ от угла резания δ получается исключением величины ε из системы (37), (38) (она соответствует зависимости t от δ'). Точному решению эта система не поддается из-за высокой степени по обеим величинам.

Поэтому применяем следующий прием. Из формул (37) и (38) можно написать

$$\frac{\delta'' g}{u} + \frac{g}{\gamma'(\delta' + \mu')} = 1 + \varepsilon + 1 - \varepsilon^2 = 2 + \varepsilon - \varepsilon^2.$$

Но график зависимости $\varepsilon - \varepsilon^2$ при $0 \leq \varepsilon < 1$ имеет вид (рис. 4), то есть $2 + \varepsilon - \varepsilon^2 \approx 2,125 \approx 2,12$ с максимальной ошибкой до $\frac{0,12}{2} \approx 6\%$.

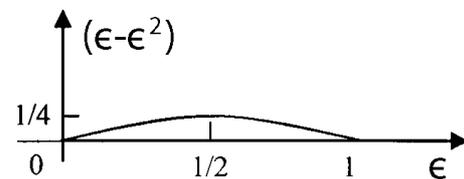


Рис. 4. Зависимость функции $F(\varepsilon)$

Таким образом, получено **уравнение, связывающее величины δ и t** :

$$\frac{\delta'' g}{u} + \frac{g}{\gamma'(\delta' + \mu')} = 2,12$$

или

$$\frac{\delta'}{1 - \mu' \delta'} + \frac{u}{\delta' + \mu'} = \frac{2,12 \gamma' u}{g}. \quad (39)$$

Последнее уравнение связывает угол резания ($\delta' = \text{tg} \delta$) и давление ($u = u(t)$, $g = g(t)$, $t = \sigma_{\text{в}} \frac{a}{1 + \omega_0}$) при резании выпи-

рающей вперед лобовой гранью пластической зоной деформации грунта без ядра уплотнения на ноже.

Выводы

1. В настоящей работе рассмотрена модель резания грунта широким плоским ножом в условиях, когда перед его лобовой гранью образуется выступающая вперед пластическая зона деформации.

2. Для решения задачи определены условия развития процесса по данному типу и углы резания, в пределах которых он реализуется.

3. Составлена система основных уравнений при резании грунта пластически деформирующейся массой без ядра уплотнения.

4. Получены зависимости, связывающие физико-механические свойства грунтовой среды и геометрические параметры режущего ножа.

Литература

1. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Пузаков Д.В. Модель щелевого резания грунта пространственно ориентированным ножом // Гірн., буд., дор. і меліорат. машини.– К.: КНУБА, 2006.– Вип. 67.– С.8-11.
2. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Пузаков Д.В. Условие образования ядра уплотнения при щелевом резании грунта // Гірн., буд., дор. і меліорат. машини.– К.: КНУБА, 2006.– Вип. 68.– С.8-11.
3. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Литвиненко И.Н. Модель косоугольного щелевого резания грунта широким острым ножом // Техніка будівництва.– К.: КНУБА, 2006.– Вип. 18.– С.4-11.
4. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Литвиненко И.Н. Модель перемещения грунта по ножу при вырезании щели в глубине массива // Гірн., буд., дор. і меліорат. машини.– К.: КНУБА, 2005.– Вип. 66.– С.17-21.

Рецензент. С.В. Кравець, д.т.н., проф.
(НУВГП)

Отримано: 18.05.2011 р.