

Тургунбаев М.С.

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА РАЗРУШЕНИЮ

M.S. Turgunbaev

THE ANALYSIS OF THEORETICAL EXPRESSIONS FOR FORCE DEFINITION RESISTANCES A GROUND TO DESTRUCTION

УДК: 621.879.06

Проведен сравнительный анализ теоретических выражений для определения силы разрушения грунта рабочим органом землеройной машины на основе теории предельного равновесия сыпучей среды

The comparative analysis of theoretical expressions for definition of the force of destruction of a ground by working digging cars on the basis of the theory of limiting balance of the loose is carried out environments.

Сопротивление грунтов разрушению зависит от большого количества факторов: свойств и состояния грунта, формы и размеров рабочего органа, состояния рабочих поверхностей, параметров резания и т.д. Поскольку свойства и состояние грунта очень разнообразны, то, естественно, охватить все эти сочетания экспериментальными исследованиями представляется невозможным.

Для разработки теоретического метода расчета может быть использованы результаты науки «Механика грунтов», которые определяют условия прочности грунтов как основания или материала сооружения. Задачи, решаемые вышеназванной наукой, заключаются в определении предельных нагрузок на грунт, превышение которой может вызвать потерю устойчивости части грунтового массива. Исследование же процесса резания грунтов имеет целью установить наиболее экономичное и производительное их разрушение путем отделения от массива некоторого слоя грунта. Таким образом, несмотря на различие целей, процессы, изучаемые механикой грунтов, соприкасаются с процессом резания грунтов.

К.А.Артемьевым [1] проведено теоретическое обоснование процесса резания, его физической сущности и возникающего при этом сопротивления резания основываясь на теории предельного равновесия грунтов.

К.А.Артемьевым горизонтальная составляющая величины отпора E_1 , действующая на рабочий орган землеройной машины, определяется по формуле:

$$E_{1A} = (1 + tg\beta tg\varphi_0) \int_0^{h_1} \sigma_1 dZ = M_1 [K_1 (0,5\lambda gh^2 + hCctg\rho) - hCctg\rho] \quad (1)$$

Вертикальная составляющая определяется выражением:

$$E_{1a} = (tg\beta - tg\varphi_0) \int_0^{h_1} \sigma_1 dZ = M_2 [K_1 (0,5\lambda gh^2 + hCctg\rho) - hCctg\rho] \quad (2)$$

В.А.Ветровым [2] основываясь на метод В.В.Соколовского [3], получены аналитические выражения для определения силы сопротивления грунта резанию. С учетом определенных упрощений и после некоторых преобразований, реактивное нормальное давление на лобовую грань ножа можно представить в виде равенства:

$$q = CA, \quad (3)$$

где А – коэффициент, зависящей от угла резания и углов внешнего и внутреннего трения грунта.

Для условий пологих граней (весьма малых углов резания) этот коэффициент равен:

$$A = \frac{2 \cos \varphi \sin^2 \alpha}{1 - \sin \varphi}, \quad (4)$$

Для условий промежуточных граней, соответствующих величинам углов резания у землеройных машин

$$A = \frac{\cos \varphi_0 (\cos \varphi_0 + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0}) (\sin \varphi \cos \theta + \sqrt{1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \theta})^2 - \cos^2 \varphi (1 - \sin \varphi)}{\sin \varphi \cos \varphi (1 - \sin \varphi)} \quad (5)$$

Для условий крутых граней (больших углов резания)

$$A = \frac{\cos \varphi \cos \varphi_0 (\cos \varphi_0 + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0})}{\sin \varphi (1 - \sin \varphi)} \cdot \exp \left[\left(2\alpha - \pi + \varphi_0 + \arcsin \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi} \right) \operatorname{tg} \varphi \right] - \operatorname{ctg} \varphi \quad (6)$$

Касательная составляющая напряжения на лобовой грани ножа определяется выражением:

$$|\tau| = \operatorname{Ctg} \varphi_0 (A + \operatorname{ctg} \varphi) \quad (7)$$

С учетом проведенных упрощений касательная и нормальная сила сопротивления грунта разрушению отнесенные к единице ширины среза определяются по формуле:

$$\frac{R_{P_{\tilde{n}\tilde{a}}}}{b} = hCB; \quad \frac{R_{N_{\tilde{n}\tilde{a}}}}{b} = hCD \quad (8)$$

где В и D – коэффициенты того же характера, что и коэффициенты А, имеющие выражение:

$$\begin{aligned} B &= A(1 + \operatorname{tg} \varphi_0 \operatorname{ctg} \alpha) + \operatorname{tg} \varphi_0 \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi; \\ D &= A(\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \alpha) + \operatorname{tg} \varphi_0 \operatorname{ctg} \varphi; \end{aligned} \quad (9)$$

Баловневым В.И.[4] определено напряжение, возникающее на поверхности режущего элемента при разработке сыпучей среды со сцеплением на основании теории предельного равновесного состояния.

При малых углах резания (пологие подпорные стенки) нормальная составляющая полного давления определяется по формуле:

$$\sigma_r = A_1 \left[\gamma \delta + \tilde{N} \tilde{n} \operatorname{tg} \varphi \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p \right], \quad (10)$$

При таких же углах резания касательная составляющая полного давления определяется по формуле:

$$\tau_r = A_2 \left[\gamma \delta + \tilde{N} \tilde{n} \operatorname{tg} \varphi \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p \right], \quad (11)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{1 - \sin \varphi \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi}, \quad A_2 = \frac{\sin \varphi \sin 2\alpha}{1 - \sin \varphi}, \quad (12)$$

Для крутых и наклонных стенок формулы для определения нормальных напряжений в замкнутой форме получены для невесомой среды:

$$\sigma_r = A_3 \left[\tilde{N} \tilde{n} \operatorname{tg} \varphi \left(1 - \frac{1}{A_3} \right) + p \right], \quad \tau_r = A_4 \left[\tilde{N} \tilde{n} \operatorname{tg} \varphi \left(1 - \frac{1}{A_3} \right) + p \right], \quad (13)$$

$$\text{где } A_3 = \frac{\cos \varphi_0 (\cos \varphi_0 + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0})}{1 - \sin \varphi} \exp \left(2\alpha - \pi + \varphi_0 + \arcsin \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi} \right) \operatorname{tg} \varphi, \quad (14)$$

$$A_4 = \frac{\sin \varphi_0 (\cos \varphi_0 + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0})}{1 - \sin \varphi} \exp \left(2\alpha - \pi + \varphi_0 + \arcsin \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi} \right) \operatorname{tg} \varphi, \quad (15)$$

На основе нормальной и касательной составляющей определялся результирующее усилие, которое в дальнейшем проектировался на горизонтальную и вертикальную ось.

$$P_{\tilde{a}} = \left(\sqrt{\sigma_r^2 + \tau_r^2} \right) \cos \psi \quad (16)$$

М.С.Тургунбаевым [5] на основе теории предельного равновесия сыпучей среды получены аналитические выражения для определения силы разрушения грунта при резании острым режущим органом, в установившемся режиме, при свободной схеме разрушения, на глубине резания - h и шириной резания - b:

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

где
94

Для того, чтобы оценка была общей, вычисления проведены для грунтов с широким интервалом значений физико-механических характеристик грунтов [6], (табл.1), для следующего режима резания $h = 0,2 i$, $\alpha = 20^\circ, \hat{a} = 0,5 i$, свободное резание.

Табл.1.

Физико-механические свойства грунтов

Вид грунта	Характеристики грунта				Граничные углы	
	$\gamma, \text{Н/м}^3$	$C, \text{Н/м}^2$	$\varphi, \text{град}$	$\varphi_0, \text{град}$	$\beta_0, \text{град}$	$\beta_1, \text{град}$
Супесь 1	16660	9800	22	16	31,7	74,3
Супесь 2	16660	27000	22	16	31,7	74,3
Суглинок 1	18424	39200	20,5	15	30,6	74,3
Суглинок	18424	66000	20	15	30,6	74,3
Глина 1	18620	155000	14,5	4,5	7,3	85,6
Глина 2	23226	200900	14,5	4,5	7,5	85,4

Из анализа значений β_0 и β_1 следует, что рабочий орган находится в пологой области, т.к $\beta = 90^\circ - \alpha = 70^\circ$. Для этого случая в работе [3] нормальное напряжение к поверхности подпорной стенки определено с учетом собственного веса сыпучей среды.

Определены силы разрушения грунтов по выражениям 1,8,16,17.

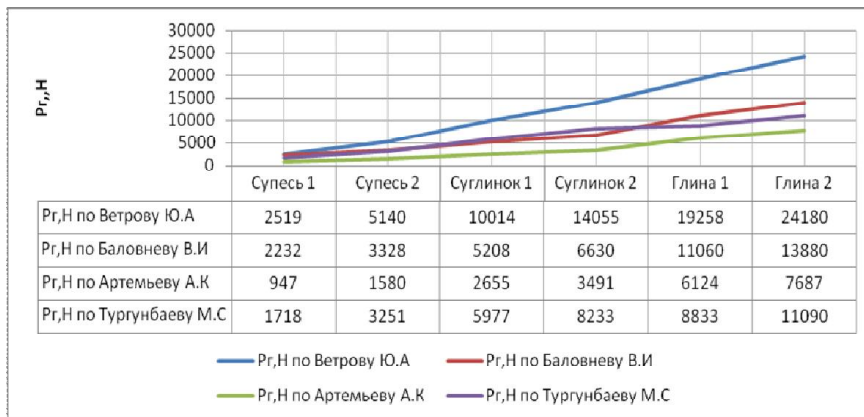


Рис. 1. График горизонтальной силы разрушения в зависимости от вида грунтов

По результатам вычислений построены графики силы разрушения различных видов грунта, определенные по различным методикам, которые приведены на рис.1...5

Из рис.1 видно, что силы разрушения однородного грунта (горизонтальная сила) определенные по различным методикам характеризуются минимальными и максимальными значениями. Силы разрушения грунта, определенные по методике К.А.Артемьева имеют минимальные значения, тогда как, силам разрушения грунта, вычисленным по методу Ю.А.Ветрова, соответствуют наибольшие значения. Силы разрушения грунта, установленные по методикам В.И.Баловнева и М.С.Тургунбаева находятся между силами разрушения, определенные по методам К.А.Артемьева и Ю.А.Ветрова. Следует отметить, что силы разрушения грунта возрастают с увеличением содержания пылевато-глинистых частиц, в частности коэффициента сцепления грунта. Причем градиент возрастания силы разрушения грунта с увеличением сцепления грунта по Ветрову Ю.А выше сравнительно силам разрушения, определенные по другим методикам.

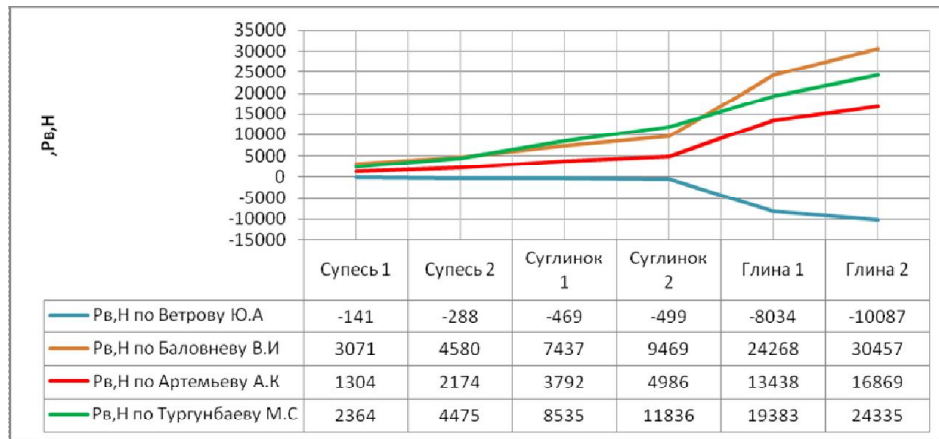


Рис. 2. График вертикальной силы разрушения в зависимости от вида грунтов

Расхождение между силами, вычисленные по методикам вышеназванных авторов увеличивается в области глинистых грунтов, по сравнению силам разрушения супесчаных грунтов.

Из рис.2 следует, что вертикальные силы резания, определенные по методикам В.И.Баловнева, К.А.Артемьева и Ю.А.Ветрова изменяются скачкообразно в области глинистых грунтов. Причем, вертикальные силы, установленные, по методу Ю.А.Ветрова имеют отрицательные значения. Вертикальные силы резания, определенные по формулам М.С.Тургунбаева возрастают плавно с увеличением пластических свойств грунтов.

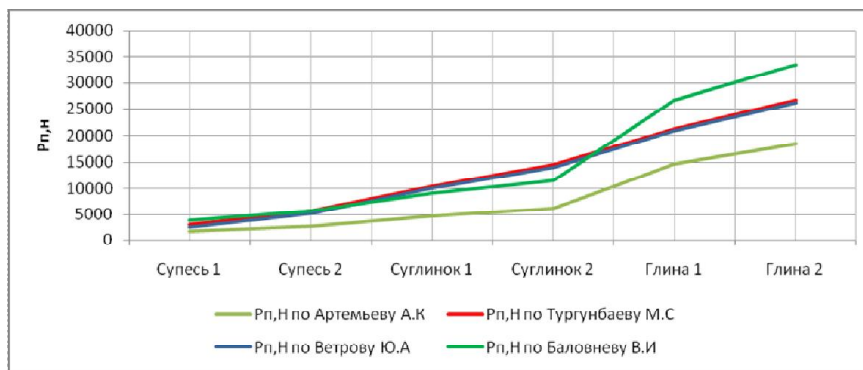


Рис. 3. График результирующей силы разрушения в зависимости от вида грунтов

Из этого графика видно, что результирующие силы резания грунтов, вычисленные, по методам Ю.А.Ветрова и Тургунбаева М.С близко совпадают, а силы определенные по методикам Баловнева В.Ии К.А.Артемьева имеют наибольшие расхождения.

Для определения согласованности теоретических и экспериментальных сил разрушения грунта проведем вычисления по аналитическим выражениям 1,8,16,17 для следующего параметра резания $h = 0,2 i$, $\alpha = 30^0, \hat{a} = 0,5 i$, свободное резание. Физико-механические характеристики грунтов, соответствуют таблица табл.1. Экспериментальные значения сил резания грунтов приведены в работе [2]. На рис.4 и 5 приведены графики сил резания однородных грунтов, рассчитанных по методикам вышеназванных авторов и изменения сил резания относительно сил резания, найденных экспериментальным путем.

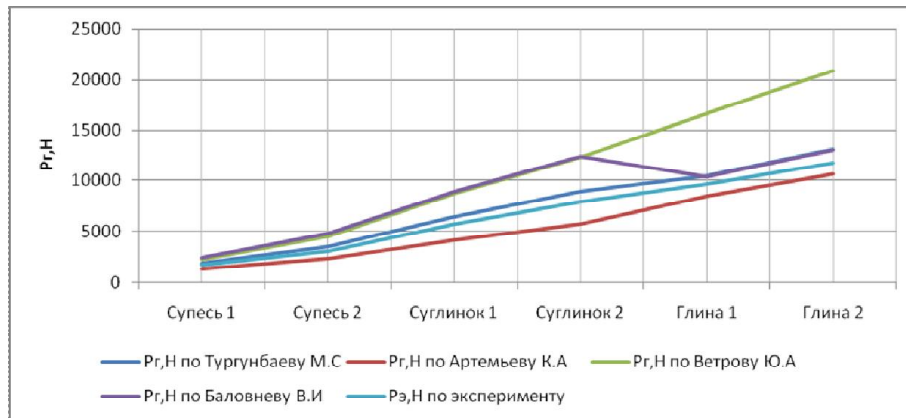


Рис. 4. График горизонтальной силы разрушения в зависимости от вида грунтов

На рис.5 показано относительное изменение силы разрушения грунта по сравнению с экспериментальной силой разрушения.

Из рис.5 следует, что относительное изменение между теоретическими и экспериментальными силами разрушения грунта следующее:

- а) между теоретическими силами, определенными по Ю.А.Ветрова и экспериментальными силами разрушения грунта составляет 33,9...78,8 %;
- б) между теоретическими силами, определенными по К.Артемяеву и экспериментальными силами разрушения грунта составляет 9,2...24,6 %;
- в) между теоретическими силами, определенными по Баловневу В.И и экспериментальными силами разрушения грунта составляет 9,1...64,7 %;
- г) между теоретическими силами, определенными по Тургунбаеву М.С и экспериментальными силами разрушения грунта составляет 10,2...19,3 %.

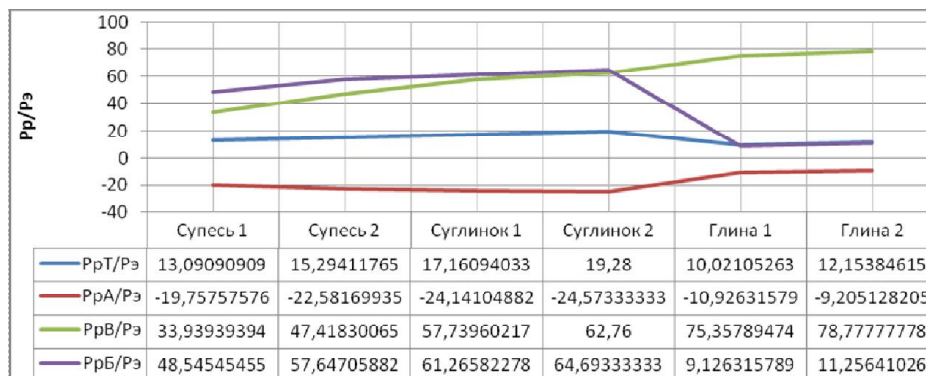


Рис. 5. Изменение силы резания относительно экспериментальной силы резания грунтов:

PrБ – сила резания грунта, установленная по Баловневу В.И., PrВ – сила резания грунта, установленная по Ветрову Ю.А., PrА – сила резания грунта, установленная по Артемяеву А.К., PrТ – сила резания грунта, установленная по Тургунбаеву М.С., Pr – сила резания грунта, установленная экспериментальным путем.

Из этого следует, что теоретические силы разрушения, рассчитанные по методикам Артемяева и Тургунбаева, хорошо согласуются с экспериментальными силами разрушения.

Литература:

1. К.А.Артемяев. Теория резания грунтов землеройными машинами. – Новосибирск.: НИСИ, 1978. -50 с.
2. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М., 1971, 360 с.
3. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды., Гостехтеориздат, 1954.
4. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы. М., «Машиностроение» 1988, 197 с.
5. Тургунбаев М.С. Наука и новые технологии №2 2013, Бишкек, 24-27 с.
6. Маслов Н.Н., Расчет устойчивости откосов, Госэнергоиздат, 1955.

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