

[DOI:10.26104/NNTIK.2023.61.91.004](https://doi.org/10.26104/NNTIK.2023.61.91.004)

Тургунбаев М.С.

ЖЕР КАЗУУЧУ МАШИНАНЫН КЕСҮҮЧҮ АСПАБЫ МЕНЕН ТАШТУУ
ДИСПЕРСТИК ТОПУРАКТЫ КЕСҮҮ УЗУНДУГУ

Тургунбаев М.С.

ДЛИНА РЕЗАНИЯ ДИСПЕРСНОГО ГРУНТА С КАМЕНИСТЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ
РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ МАШИНЫ

M. Turgunbaev

CUTTING LENGTH OF DISPERSED SOIL WITH STONY INCLUSION
BY THE CUTTING TOOL OF THE EARTHMOVING MACHINE

УДК: 624.131.533

Кыртыштын талкаланууга туруштук берүү күчүнүн өзгөрүшү жер казуучу машинанын жумушчу органынын турукташтырылган кесүү режиминдеги кыймылына жараша каралган. Кесүүчү органдын кесүү бурчунун жана анын кесүү ылдамдыгынын натыйжасында топурактын белгилүү көлөмү алдын ала деформация болот. Көрсөтүлгөндүн негизинде топурактын кесүүгө каршылык күчүнүн деңгээли механикалык жер аралашмасынын кесүү деңгээлинде болот. Биринчи жолу жер казуучу машинанын кесүүчү аспабы менен дисперстүү топурактын кесүү узундугун аныктоосу аныкталган, топурактын механикалык аралашмасы түшүнүгү берилген. Ири таштуу дисперстүү кыртыштын талкалануу оюгунун геометриялык параметрлери такталды. Кыртыштын талкалануу оюгу элементтик жана мейкиндик мүнөзгө ээ. Алдын ала деформацияланган кыртыштын көлөмүн аныктоо үчүн аналитикалык туюнтма иштелип чыккан. Кыртыштын талкалануу оюгу шарттуу түрдө негизги жана кошумча аймактарга бөлүнөт. Мейкиндик коэффициентин эсептөөгө мүмкүндүк берген, негизги жана кошумча аймактар, борбордук жана каптал бөлүктөрү боюнча талкаланган топурактын көлөмүнүн аналитикалык туюнтмалары алынган. Талкалануу оюгунун аналитикалык туюнтмаларын жер казуучу машинанын кесүүчү куралы менен чоң таштуу топуракты талкалоо процессинин энергия сыйымдуулугун эсептөөдө колдонсо болот.

Негизги сөздөр: топурактар, ири таштуу кошумчалар, талкалануу оюгу, топурактын көлөмү, борбордук бөлүгү, каптал бөлүгү, негизги жагы, кошумча жагы, энергия сыйымдуулугу, мейкиндик мүнөзү.

Изменение силы сопротивления грунта разрушению рассматривается в зависимости от перемещения рабочего органа землеройной машины, в установившемся режиме резания. Вследствие расположения режущего органа под углом резания и движения его со скоростью резания происходит опережающая деформация определенного объема грунта за прорезью разрушения. За счет такого сила сопротивления грунта резанию находится на уровне резания механической смеси грунта. Впервые рассмотрено и дано определение длины резания дисперсного грунта с каменистым включением режущим инструментом землеройной машины, дано понятие механической смеси грунта. Уточнены геометрические параметры прорези разрушения дисперсного грунта, содержащего крупнообломочное каменистое включение. Прорезь разрушения грунта имеет элементный и пространственный характер. Разработано аналитическое выражение для определения объема, опережающее деформированного грунта. Прорезь разрушения грунта с каменистым включением условно разделена на основную и дополнительную области. Получены аналитические выражения объема разрушенного грунта основной и дополнительной областей, центральной и боковой частей, которые позволяют рассчитать значение коэффициента пространственности. Полученные аналитические выражения прорези разрушения можно использовать для расчета энергоемкости процесса разрушения грунта с каменистыми включениями режущим инструментом землеройных машин.

Ключевые слова: грунт, каменистое включение, прорезь разрушения, объем грунта, центральная часть, боковая часть, основная область, дополнительная область, энергоемкость, пространственный характер.

For the first time, the definition of the cutting length of dispersed soil with rocky inclusion by the cutting tool of an earthmoving machine is considered and given, the concept of a mechanical mixture of soil is given. The geometric parameters of the fracture slot of the dispersed soil containing a large-block stony inclusion have been clarified. The slot of soil destruction has an elemental and spatial character. An analytical expression has been developed to determine the volume ahead of the deformed soil. The slot of soil destruction with rocky inclusion is conditionally divided into the main and additional areas. Analytical expressions of the volume of the destroyed soil of the main and additional areas, central and lateral parts are obtained, which allow calculating the value of the spatiality coefficient. The obtained analytical expressions of the fracture slot can be used to calculate the energy intensity of the process of soil destruction with rocky inclusions by the cutting tool of earthmoving machines.

Key words: soil, rocky inclusion, destruction slot, volume of soil, central part, lateral part, main area, additional area, energy intensity, spatial character.

Дисперсным грунтом называется грунт, у которого структура состоит из механической смеси мелкозернистых (мельче 2мм) и крупнозернистых (крупнее 2мм) минералов грунта, между которыми существуют физические, физико-химические и механические связи. Дисперсный грунт может содержать в своей структуре отдельные крупные обломки в виде каменистых включений, которые являются концентраторами напряжений. При резании такого грунта режущим инструментом землеройной машины образуется элементная прорезь разрушения [1]. Разрушение грунта с интенсивным выкатыванием эллипсоидного обломочного включения на поверхность

грунта, при установившемся режиме резания приведено на рисунке 1. Большая полуось эллипсоидного каменистого включения ориентирована параллельно направлению резания грунта [2].

Длиной резания называется путь режущего инструмента, соответствующий наступлению в грунте предельного напряженного состояния [3], возрастанию силы сопротивления до максимального значения и дальнейшему разрушению определенного объема грунта, снижению силы сопротивления грунта до уровня резания механической смеси грунта. Поддержание силы сопротивления грунта резанию на уровне резания механической смеси грунта происходит за счет угла и скорости резания, способствующие режущей кромке опережающее внедряется в не разрушенный грунт. В таком случае, длина резания определяется выражением, составляющие которого устанавливается опытным путем:

$$L_{dm} = l_{ess} + l_{gd} \quad (1)$$

где l_{ess} – путь режущего органа, при котором в грунте наступает предельное напряженное состояние, l_{gd} – путь режущего органа, необходимый для поддержания силы сопротивления на уровне резания механической смеси грунта. В соответствии с законом сохранения энергии накопленная внутренняя энергия сжатия грунта в пределах l_{ess} израсходуется на разрушение определенного объема грунта – V_{ba} , и на опережающую деформацию объема грунта – V_{gd} , в пределах l_{gd} . Тогда общий объем разрушенного и деформированного дисперсного грунта с каменистым включением равняется:

$$V_{dm} = V_{ba} + V_{gd} \quad (2)$$

В свою очередь объем прорези разрушения V_{ba} складывается из объемов грунта основной области, ограничиваемая режущей кромкой – V_b и дополнительной области, превышающая режущую кромку – V_a :

$$V_{ba} = V_b + V_a \quad (3)$$

Принимается, что основная область состоит из центральной (c) и боковых частей (s) прорези разрушения [1]:

$$V_b = V_{bc} + V_{bs} \quad (4)$$

На основе анализа рисунка 1 заключается, что прорезь разрушения грунта является сложной геометрической фигурой, имеющая трехмерное (3D) измерение [1]. В [4],[5] приводится, что криволинейные поверхности прорези разрушения можно аппроксимировать прямыми линиями с учетом возможных погрешностей. По результатам аппроксимации для практических расчетов прорезь разрушения представляется совокупностью правильных геометрических фигур: трапециевидальной призмы, прямоугольной треугольной призмы, прямоугольной треугольной пирамиды. Трапециевидальная призма состоит из 3-х зон: зона угла резания (α), зона локации камня (m) и фронтальная зона (f). При отсутствии каменистого включения дисперсный грунт представляет собой механическую смесь мелкозернистых и крупнозернистых минеральных частиц. Коэффициент глубины резания определяется выражением, учитывая граничное значение $h_a = 0,25c_e$ [6]:

$$k_h = \frac{0,5h}{c_e} - 0,75 \quad (5)$$

Координата центра тяжести каменистого включения определяется выражением:

$$h_g = \frac{h}{2} + e_h \quad (6)$$

$$e_h = k_h c_e \quad (7)$$

В нашем случае эксцентриситета по ширине резания [2] отсутствует, т.е. $e_b = 0$. Глубина залегания камня относительно дневной поверхности грунта равна:

$$h_e = h + h_a \quad (8)$$

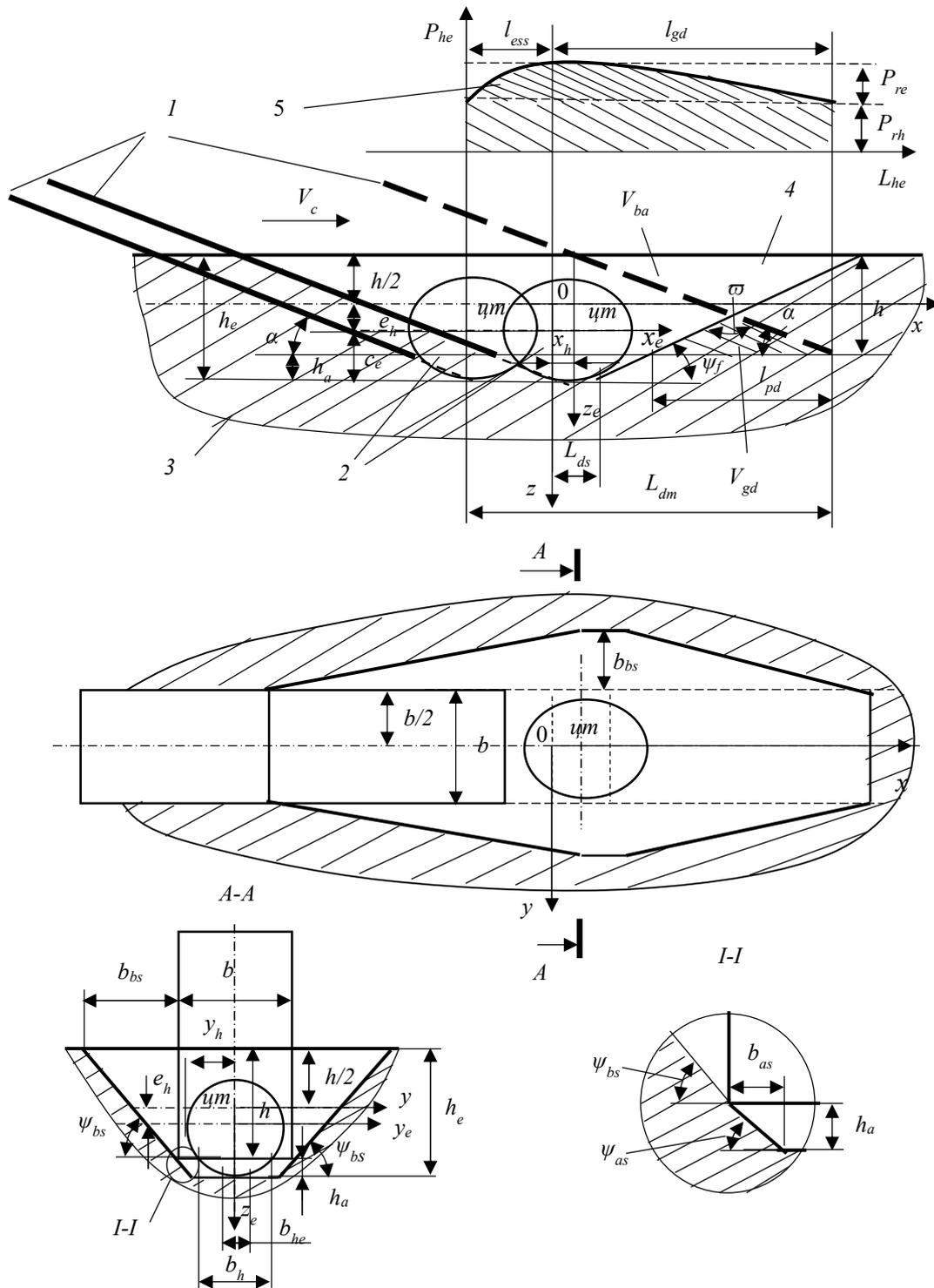


Рис. 1. Схема резания грунта, содержащего крупнообломочное включение. 1 – режущий орган, 2 – крупнообломочное включение, 3 – грунт, 4 – прорезь разрушения, 5 – график силы сопротивления грунта резанию, um – центр тяжести обломка, h – глубина резания, b – ширина резания, L_{dm} – длина резания, L_{ds} – длина прорези разрушения, α – угол резания, ψ_f – угол сдвига во фронтальной части, ψ_{bs} , ψ_{as} – углы сдвига в боковой части, e_h – эксцентриситет по глубине резания, h_e – глубина залегания обломочного включения, h_a – высота дополнительной области, b_{he} – ширина резания дополнительной области.

Основные геометрические параметры прорези разрушения приведены в [1],[4],[5] без разделения прорези разрушения на основную и дополнительную области. Объем прорези разрушения центральной части основной области определяется выражением:

$$V_{bc_\alpha} = \frac{bh^2 \operatorname{ctg} \alpha}{2} \quad (9)$$

$$V_{bc_m} = Abh \quad (10)$$

где $A = h_a (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi_f) + L_{ds}$

$$V_{bc_{\psi_f}} = \frac{bh^2 \operatorname{ctg} \psi_f}{2} \quad (11)$$

$$V_{bc} = \frac{bh^2 (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi_f)}{2} + Abh \quad (12)$$

Значение малой полуоси c_e эллипсоидного каменистого включения определяется выражением [7]. Величина коэффициента сжатия формы (k_{cm}) задается, а значение коэффициента глубины резания (k_h) в зависимости от h , c_e рассчитывается.

Текущие координаты поверхности эллипсоидного включения x_h , y_h в зависимости от величины z_h определяются на основе канонического уравнения эллипсоида [8]:

$$x_h = a_e \sqrt{\left(1 - \frac{z_h^2}{c_e^2}\right)} \quad (13)$$

$$y_h = b_e \sqrt{\left(1 - \frac{z_h^2}{c_e^2}\right)} \quad (14)$$

$$z_h = 0,75 c_e \quad (15)$$

Величина x_h влияет на длину прорези разрушения L_{ds} , которая устанавливается экспериментальным путем [5],[9],[10]. А величина y_h оказывает влияние на b_h . Принимается, что:

$$b_h = 2y_h \quad (16)$$

В случае, когда $b_h < b$, в формулу (9)-(12) подставляется значение b , а когда $b_h \geq b$ в формулы (9)-(12) подставляется значение b_h . Боковая часть основной области прорези разрушения грунта также состоит из 3-х составляющих:

$$V_{bs} = V_{bs_\alpha} + V_{bs_m} + V_{bs_{\psi_f}} \quad (17)$$

где V_{bs_α} – объем разрушенного грунта в зоне угла резания; V_{bs_m} – объем разрушенного грунта в зоне локализации каменистого включения; $V_{bs_{\psi_f}}$ – объем разрушенного грунта во фронтальной зоне.

Экспериментальные исследования [5],[6] показывают, что границей изменения значения бокового угла прорези разрушения можно принять глубину резания грунта. В таком случае боковая криволинейная поверхность аппроксимируется ломаными прямыми линиями (рис. 1, I-I).

$$V_{bs_\alpha} = \frac{b_{bs} h^2 \operatorname{ctg} \alpha}{6} \quad (18)$$

$$b_{bs} = h \operatorname{ctg} \psi_{bs} \quad (19)$$

где ψ_{bs} – боковой угол сдвига основной области прорези разрушения.

$$V_{bs_m} = \frac{b_{bs} h A}{2} \quad (20)$$

$$V_{bs_{\psi_f}} = \frac{b_{bs} h^2 \operatorname{ctg} \psi_f}{6} \quad (21)$$

Суммарный объем боковой части прорези разрушения равен:

$$V_{bs} = \frac{b_{bs} h^2 (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi_f)}{6} + \frac{b_{bs} h}{2} A \quad (22)$$

При отсутствии каменистого включения, в выражениях (12), (22) вторые составляющие равны нулю. В таком случае определяется объем прорези разрушения только механической смеси грунта, без крупного каменистого включения. По такой же методике определяется объем прорези разрушения дополнительной области:

$$V_a = V_{ac} + V_{as} \quad (23)$$

Объем разрушенного грунта центральной части дополнительной области прорези равен:

$$V_{ac} = b_{he} h_a \left(\frac{A + L_{ds}}{2} \right) \quad (24)$$

где L_{ds} – длина прорези разрушения, b_{he} – ширина резания на уровне залегания крупного обломка в массиве грунта.

$$b_{as} = h_a \operatorname{ctg} \psi_{as} \quad (25)$$

где ψ_{as} – боковой угол сдвига дополнительной области прорези разрушения.

Ширина резания в зависимости от размера каменистого включения равна:

$$b_{he} = \begin{cases} b - 2b_{as}, & \text{когда } b_h < b \\ b_h - 2b_{as}, & \text{когда } b_h \geq b \end{cases} \quad (26)$$

На основе экспериментальных исследований приближенно принимается, что:

$$L_{ds} \approx b_{he} \quad (27)$$

Объем боковой части дополнительной области прорези разрушения равен:

$$V_{as} = V_{as_1} + V_{as_2} + V_{as_3} \quad (28)$$

Составляющие боковой части дополнительной области определяются выражениями:

$$V_{as_1} = \frac{b_{as} h_a^2 \operatorname{ctg} \alpha}{3} \quad (29)$$

$$V_{as_2} = \frac{b_{as} h_a L_{ds}}{2} \quad (30)$$

$$V_{as_3} = \frac{b_{as} h_a^2 \operatorname{ctg} \psi_f}{3} \quad (31)$$

Суммарный объем грунта дополнительной области прорези разрушения определяется зависимостью:

$$V_a = \frac{3b_{he}h_a(A + L_{ds}) + b_{as}h_a[2h_a(ctg\alpha + ctg\psi_f) + 3L_{ds}]}{6} \quad (32)$$

Коэффициент пространственности прорези разрушения грунта равен:

$$\eta_{np} = \frac{n_s V_{bs}}{V_{bc}} \quad (33)$$

где n_s – количество боковых сторон прорези разрушения.

$$n_s = \begin{cases} 0, & \text{при свободном резании,} \\ 1 & \text{при полублокированном резании,} \\ 2, & \text{при блокированном резании.} \end{cases} \quad (34)$$

Объем опережающее деформированного грунта определяется выражением (рис. 1):

$$V_{gd} = \frac{l_{pd}^2 \sin \psi_f \sin \alpha}{2 \sin \varpi} \quad (35)$$

где l_{pd} – путь режущего органа, в пределах которого происходит выталкивание разрушенного грунта и опережающее сжатие грунта.

$$\varpi = \pi - \alpha - \psi_f \quad (36)$$

Выводы. Таким образом, впервые определено понятие длины резания и длины прорези разрушения грунта, содержащего каменное включение. Полученные аналитические выражения позволяют рассчитать объем прорези разрушения в основной и дополнительной областях и объем опережающего деформированного грунта при резании дисперсного грунта с каменным включением режущим инструментом землеройной машины.

Литература:

1. Turgumbayev J.J., Turgumbayev M.S. Prediction of the cutting resistance force of the soil containing stony fractions. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278 Volume 5, Number 449 (2021). <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.86>. (in Eng).
2. Тургунбаев М.С. Влияние эксцентричного расположения центра тяжести каменного включения на объем разрушенного грунта. [Текст] / Тургунбаев М.С., Тургунбаева З.Б., Осмонов М.Н. // Известия ВУЗов Кыргызстана, - Бишкек., 2022. - №5. – С.32-36.
3. Sokolovsky V.V. (1954) Static bulk media [Statika sypuchej sredy] M.: Gostekhtheoreizdat. 276 s. (in Russian).
4. Тургунбаев Ж.Ж. Геометрические параметры прорези разрушенного грунта с каменным включением по результатам резания грунта узким режущим элементом землеройной машины. [текст] / Тургунбаев Ж.Ж. Тургунбаев М.С. The Herald of KSUCTA Вестник КГУСТА №4 (74), 2021 www.vestniksucta.kg 2022, Vol. 77, No. 3. - С. 1233-1243.
5. Тургунбаев М.С. Особенности разрушения пород, содержащих каменные включения. [Текст] // Горное оборудование и электромеханика. Издательство «Новые технологии». - 2014. №11(108). - С. 34-40.
6. Тургунбаев М.С. К вопросу особенности разрушения грунта, содержащего обломочно-каменные включения рабочим органом землеройной машины. Интернет-журнал “Науковедение”. - Т.9. №3 (2017), URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN317.pdf>
7. Тургунбаев Ж.Ж. Модель прогнозирования силу сопротивления резанию грунта, содержащего различные каменные включения [Текст] / Ж.Ж. Тургунбаев, М.С. Тургунбаев // Высокие технологии в строительном комплексе. Научно-технический журнал. – Воронеж., 2021. - №2. – С. 130-138. www.ttmko.ru ISSN 2618-9054
8. Д.В. Беклемишев. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: Учебник. – 13-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2015. – 448 с.
9. Тургунбаев М.С. Экспериментальные исследования процесса разрушения грунта с каменными включениями. [Текст] // Международный научно-технический конф. «Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники», - Алматы, КазАТК, 2010. - С.169-173.
10. Тургунбаев М.С., Шамуратов К.Т. Стенд для исследования процесса резания грунтов. Патент на полезную модель Кыргызской Республики №113 от 30.08.2010.
11. Тургунбаев М.С. Прорезь разрушения грунта содержащего обломочно-каменное включение. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. №. 4. С. 3-6.