

УДК 622.23.05

АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОДЫ

Пашков Д.А., аспирант Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,
Научный руководитель: Садовец В.Ю., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Снижение энергоемкости разрушения горной породы всегда являлась актуальной задачей [1-3]. Энергетические характеристики разрушения горной породы являются основой для расчета теоретической производительности.

На данный момент ведутся разработки по созданию нового класса горнопроходческих машин – геоходов [4-10]. Получена методика определения силовых параметров ножевого исполнительного органа (ИО) геохода [11-15]. Однако, для обоснования рациональной формы ИО необходимо выявить закономерности энергоемкости разрушения горной породы ножевым исполнительным органом геохода.

Методика определения силовых параметров ножевого ИО геохода базируется на методике определения сил резания, предложенной Ветровым Ю.А. [16-17]. Поэтому, для дальнейшего исследования выбрана методика определения энергоемкости разрушения породы ножевым ИО.

Величина энергоемкости разрушения грунтов землеройными машинами по Ветрову Ю.А. определена как удельная сила резания [18].

Величина энергоемкости разрушения горной породы определяется отношением усилия резания на площадь поперечного сечения среза [18]

$$p = \frac{P}{F_{cp}}, \quad (1)$$

где P – сила резания ножом, Н;

F_{cp} – площадь поперечного сечения (рисунок 1) прорези, мм².

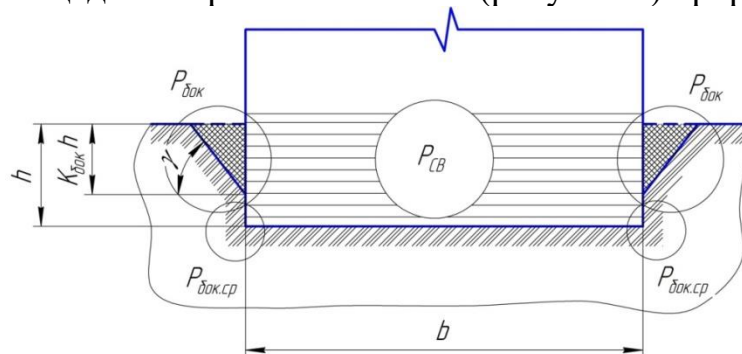


Рисунок 1 – Зоны действия составляющих силы резания острым ножом

Площадь поперечного сечения прорези для простых острых ножей, отделяющих стружку в условиях блокированного резания

$$F_{cp} = bh + k_{бок}^2 h^2 \operatorname{ctg} \gamma, \quad (2)$$

где b – ширина ножа, м;

h – глубина резания, м;

$k_{бок}$ – коэффициент глубины расширяющей части прорези;

γ – угол наклона расширяющей части прорези к горизонту, град.

Вся сила блокированного резания простым острым ножом [18-20]:

$$P = \varphi m_{св} bh + 2m_{бок} h^2 + 2m_{бок.ср} h, \quad (3)$$

где $\varphi m_{св} bh$ – силы преодоления лобовых сопротивлений ножу (на рисунке 1 обозначено $P_{св}$), Н;

$2m_{бок} h^2$ – вся сила разрушения грунта в боковых расширениях прорези ($P_{бок}$ на рисунке 1), Н;

$2m_{бок.ср} h$ – силы бокового среза ($P_{бок.ср}$ на рисунке 1), Н;

φ – коэффициент, учитывающий влияние угла резания;

$m_{св}$ – удельная сила резания для преодоления сопротивлений грунта передней гранью при угле резания 45° , Н/м²;

$m_{бок}$ – коэффициент, характеризующий силу разрушения грунта в боковых частях прорези, Н/м²;

$m_{бок.ср}$ – коэффициент, характеризующий удельную силу среза одним из боковых ребер ножа, Н/м.

С учетом выражений (2) и (3) выражение (1) примет вид

$$p = \frac{\varphi m_{св} bh + 2m_{бок} h^2 + 2m_{бок.ср} h}{bh + k_{бок}^2 h^2 \operatorname{ctg} \gamma}, \quad (4)$$

Разделим в числителе силу блокированного резания на три составляющие, одна из которых зависит от ширины среза (ножа) b , а другие нет

$$p = \frac{\varphi m_{св} bh}{bh + k_{бок}^2 h^2 \operatorname{ctg} \gamma} + \frac{2m_{бок} h^2}{bh + k_{бок}^2 h^2 \operatorname{ctg} \gamma} + \frac{2m_{бок.ср} h}{bh + k_{бок}^2 h^2 \operatorname{ctg} \gamma}, \quad (5)$$

Сократим выражение (5) на h

$$p = \frac{\varphi m_{св} b}{b + k_{бок}^2 h \operatorname{ctg} \gamma} + \frac{2m_{бок} h}{b + k_{бок}^2 h \operatorname{ctg} \gamma} + \frac{2m_{бок.ср}}{b + k_{бок}^2 h \operatorname{ctg} \gamma}, \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что при каждой данной ширине ножа b часть энергоемкости разрушения породы, идущая на преодоления лобового сопротивления грунта (первый член выражения (6)), – убывающая функция глубины резания h . Часть энергоемкости разрушения породы, расходуемая на преодоление сопротивлений в боковых расширениях прорези (второй член выражения (6)) – возрастающая функция глубины резания. Убывающей функци-

ей глубины резания оказывается часть энергоемкости разрушения породы, идущая на преодоление сопротивления боковому срезу (третий член выражения (6)).

Если глубина резания $h \rightarrow 0$, то энергоемкость разрушения породы

$$p \rightarrow \frac{\varphi m_{св} b}{b} + \frac{2m_{бок.ср}}{b}, \quad (7)$$

При $h \rightarrow \infty$

$$p \rightarrow \frac{2m_{бок} h}{k_{бок}^2 ctg \gamma}, \quad (8)$$

Общий характер изменения энергоемкости разрушения породы в интервале $0 < h < \infty$ определяется знаком частной производной выражения (4)

$$\frac{\partial p}{\partial h} = \frac{(2m_{бок} - \varphi m_{св} k_{бок}^2 ctg \gamma) b - 2m_{бок.ср} k_{бок}^2 ctg \gamma}{(bh + k_{бок}^2 h ctg \gamma)^2}, \quad (10)$$

Знак производной для большинства пород – отрицательный, так как $2m_{бок} < \varphi m_{св} k_{бок}^2 ctg \gamma$. Значит, энергоемкость разрушения породы, описываемая выражением (4), – обычно убывающая функция h .

Другой особенностью является отличие зависимости энергоемкости разрушения породы от ширины среза. При любой глубине среза h часть энергоемкости разрушения породы, расходуемая на преодоления лобового сопротивления грунта (первый член выражения (6)), – возрастающая функция ширины среза b , а остальные две части – убывающая с увеличением ширины среза.

Если ширина резания $b \rightarrow 0$, то энергоемкость разрушения породы

$$p \rightarrow \frac{2(m_{бок.ср} + m_{бок} h)}{k_{бок}^2 h ctg \gamma}, \quad (7)$$

При $b \rightarrow \infty$

$$p \rightarrow \varphi m_{св}, \quad (8)$$

Производная в таком случае

$$\frac{\partial p}{\partial b} = \frac{(\varphi m_{св} k_{бок}^2 ctg \gamma - 2m_{бок}) h - 2m_{бок.ср}}{(bh + k_{бок}^2 h ctg \gamma)^2}, \quad (10)$$

В данном случае величина производной может быть, как положительной, так и отрицательной. Значит, энергоемкость разрушения породы в интервале $0 < b < \infty$ может быть функцией как убывающей, так и возрастающей. Знак производной и характер изменения величины энергоемкости разрушения породы зависят от глубины резания. Глубина резания h , при которой производная изменяет знак, находится из условия, что производная равна 0. Это дает глубину резания

$$h_0 = \frac{2m_{бок.ср}}{\varphi m_{св} k_{бок}^2 ctg \gamma - 2m_{бок}}, \quad (10)$$

Если $h > h_0$, производная имеет положительный знак. При этом функция энергоемкости разрушения породы от ширины ножа в интервале $0 < b < \infty$ – возрастающая; энергоемкость разрушения породы повышается с увеличением ширины среза. При $h < h_0$, производная имеет отрицательный знак, поэтому функция энергоемкости разрушения породы от ширины ножа в интервале $0 < b < \infty$ – убывающая; энергоемкость разрушения породы уменьшается с увеличением ширины среза.

Таким образом, с математической точки зрения, удельная сила блокированного резания простым острым ножом обычно уменьшается с увеличением толщины среза. В зависимости от ширины среза энергоемкость разрушения породы уменьшается с увеличением b при глубине резания $h < h_0$, но увеличивается при $h > h_0$.

Список литературы

1. Малевич, Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Н.А. Малевич. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
2. Клорикьян, С.Х. Машины и оборудование для шахт и рудников. Справочник. 6-е изд., стереотип. / С.Х. Клорикьян, В.В. Старичнев, М.А. Сребный и др. – М.: МГГУ, 2000. – 471 с.
3. Бреннер, В.А. Щитовые проходческие комплексы: Учебное пособие / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский, Ал.В. Поляков, Ан.В. Поляков. – М.: Горная книга, МГГУ, 2009. – 447 с.
4. Аксенов В.В. Концепция создания перспективного технологического уклада формирования (освоения) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике. Часть 1 / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, В.Ю. Бегляков // Вестник КузГТУ. - 2018. - №4. - С. 105-113.
5. Аксенов В.В. Концепция создания перспективного технологического уклада формирования (освоения) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике. Часть 2 / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, В.Ю. Бегляков // Вестник КузГТУ. - 2018. - №5. - С. 43-51.
6. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений исполнительных органов геоходов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6-1 (57). С. 64-68.
7. Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. Reasoning of the model sizes in modeling the interaction between tool and rock. В сборнике: E3S Web of Conferences Electronic edition. 2018.
8. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Казанцев А.А., Вальтер А.В., Ефременков А.Б. Опыт участия в проекте по организации высокотехнологичного производства // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 8-15.

9. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А., Резанова Е.В. Граничные условия определения характерных точек ножевого исполнительного органа геохода // Вестник КузГТУ. - 2018. - №2. - С. 166-173.
10. Aksenov V.V., Efremenko A.B., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Substantiation of characteristic bending points of the blade operating body of the geokhod // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic edition. 2018. С. 012005.
11. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Определение силовых параметров ножевого исполнительного органа геохода для разрушения пород малой крепости//Вестник КузГТУ. -2017. -№3. -С. 116-126.
12. Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. The influence of parameters on the generatrix of the helicoid form guide of geokhod bar working body//E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. 2017.
13. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Определение проекции составляющей силы резания на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода // В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов VI Международная научно-практическая конференция. Редакционная коллегия: Пудов Е.Ю. (ответственный редактор), Клаус О.А. (ответственный редактор). 2018. С. 368-374.
14. Sadovets V.Yu., Beglyakov V.Yu., Efremenko A.B. SIMULATION OF GEOKHOD MOVEMENT WITH BLADE ACTUATOR // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 770. С. 384-390.
15. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов//автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. -Кемерово, 2007. с. 17.
16. Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Буялич Г. Д., Бегляков В. Ю. Влияние уступа на НДС призабойной части горной выработки //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2011. -Отд. вып. 2: Горное машиностроение. -С. 55-67.
17. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние динамических процессов, формирующихся в рабочих режимах, на силовые параметры ножевого исполнительного органа//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 10. № 12. С. 91-106.
18. Ветров, Юрий Александрович. Резание грунтов землеройными машинами. - Москва : Машиностроение, 1971. - 360 с.
19. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов. – Киев: Изд-во Киев. Ун-та, 1985. 251 с.
20. Ветров Ю.А., Баладинский В.Л. Машины для специальных земляных работ. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1980. 308 с.