

УДК 622.232.72.054.54

ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Алиткина О.А., аспирант кафедры горных машин и комплексов

Научный руководитель: Хорешок А.А., д.т.н., профессор, директор ГИ
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Энерговооруженность и удельные энергозатраты процесса разрушения породы инструментом горной машины являются основными параметрами, определяющими ее производительность. Правильный выбор породоразрушающего инструмента [1], параметров схемы его установки и закрепления [2–9] на исполнительном органе уменьшают нагрузку на инструменте, его напряженно-деформированное состояние [10–15]. При решении этих задач необходимо учитывать многолетний опыт исследований и эксплуатации породоразрушающего инструмента на горных машинах [1, 16–18]. Сложные горно-геологические условия эксплуатации породоразрушающего инструмента горной машины вызывают переменные по величине нагрузки с амплитудой в 5–10 раз превышающей средние усилия резания и подачи. В этой связи при обосновании формы, размеров и геометрических параметров инструментов горных машин необходимо учитывать закономерности механизма разрушения горной породы. Современный режущий инструмент применяется на очистных, проходческих комбайнах и бурильных машинах в породах крепостью $f \leq 8$.

При разрушении угля ($f \leq 3$) резцом имеют место процессы дробления и скальвания (рис. 1) [19].

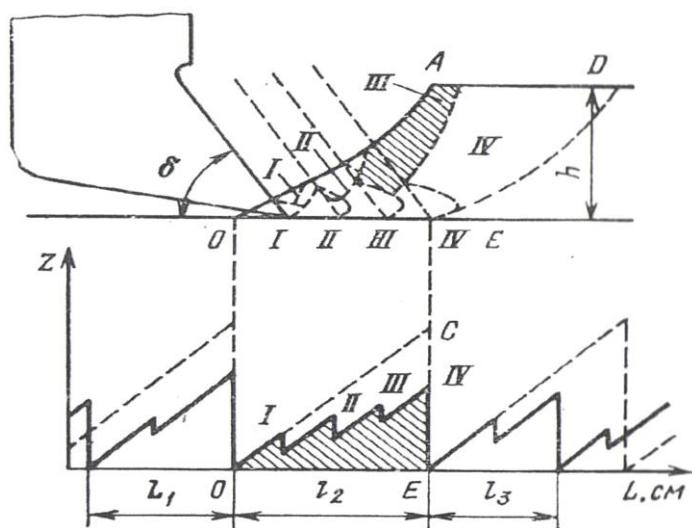


Рис. 1. Схема процесса взаимодействия режущего инструмента с углем

В соответствии с экспериментально-статистической теорией резания углей лаборатории резания угля ИГД им. А.А. Скочинского на участках I, II, III происходит дробление угля с образованием мелкофракционного пылевидного ядра, возрастает до максимального значения усилие резания Z , на что расходуется до 78% энергии всего процесса резания. На участке IV происходит скальвание крупного, с большим поперечным сечением элемента угля и усилие резания Z резко уменьшается до величины близкой к нулю.

На рис. 2, а приведены характерные импульсы усилия резания угля ($A_p = 240 \text{ Н/мм}$) одиночным радиальным резцом в функции времени [20], полученные экспериментально на кафедре ГМиК университета. Резец И-79 С имел следующие параметры: ширина резца $b = 16 \text{ мм}$; передний угол $\gamma = 5^\circ$; задний угол $\alpha = 10^\circ$. Математическая обработка осциллограмм позволила установить средние значения усилия резания, по которым построен осредненный импульс усилия резания (рис. 2, б). По оси ординат определялись значения усилий резания Z_h и Z_k , при которых, соответственно, начинается и оканчивается очередной скол, а по оси абсцисс определялись периоды: дробления угля с образованием мелкофракционного пылевидного ядра, сопровождающегося возрастанием до максимального значения усилия резания Z ; скальвания крупного, с большим поперечным сечением элемента угля, что сопровождается резким уменьшением усилия резания Z .

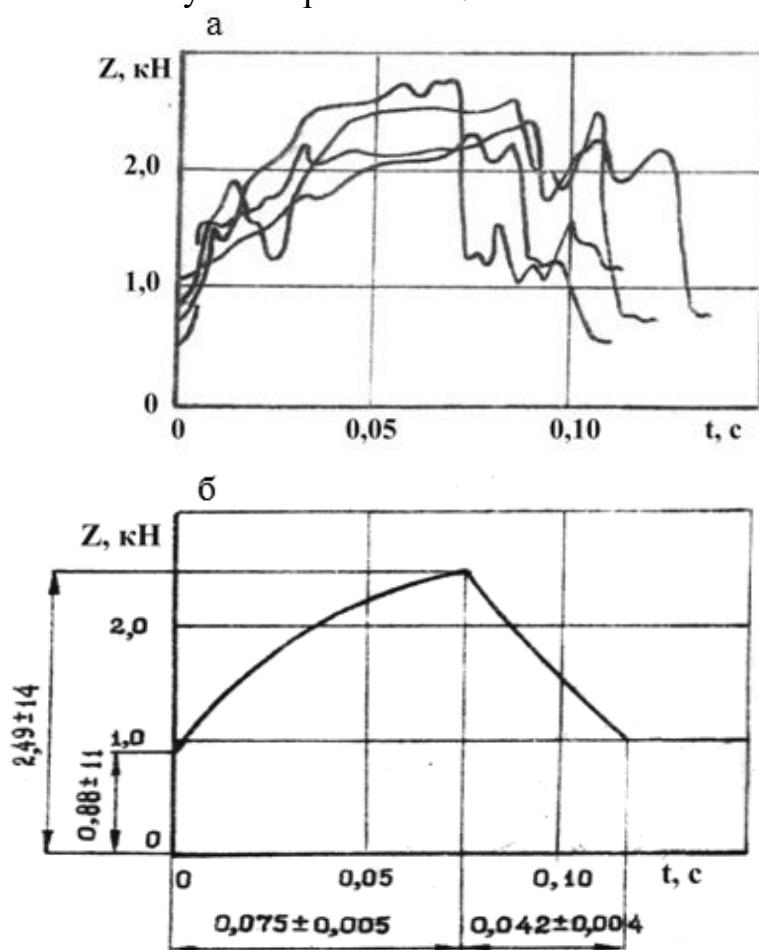


Рис. 2. Импульсы усилия резания угля одиночным радиальным резцом

Из графика на рис. 3 [19] видно, что усилие резания Z породы эталонным резцом прямо пропорционально сопротивляемости резанию A_p , которая составляет для угля 60–300 Н/мм, аргиллита 150–250 Н/мм, алевролита 300–600 Н/мм, сильвинита 370–490 Н/мм, кембрийской глины 140–160 Н/мм.

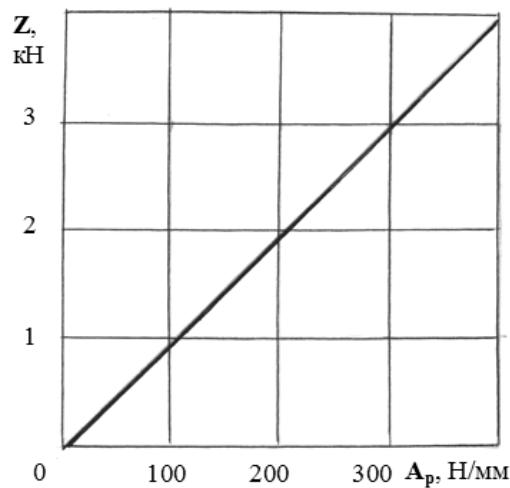


Рис. 3. Влияние сопротивляемости породы резанию на усилие резания Z

На рис. 4 зависимости 1 и 2 показывают [19] характер изменения усилий Y и Z на эталонном остром резце (ширина резца $b = 1$ см, угол резания $\delta = 80^\circ$, $\alpha = 10^\circ$) при резании угля сопротивляемостью $A_p = 200$ Н/мм в эталонном режиме. Зависимость 3 получена при исследовании [21] резания соляных пород (сильвинита) режущим инструментом установки ДКС-4 с параметрами: ширина резца $b = 2$ см, угол резания $\delta = 50^\circ$, $\alpha = 10^\circ$). С увеличением глубины резания h с 1 до 8 мм усилие подачи Y возрастает в 4,3 раза, а усилия резания Z увеличиваются, соответственно, в 6,4 (зависимость 2) и в 5,2 раза (зависимость 3).

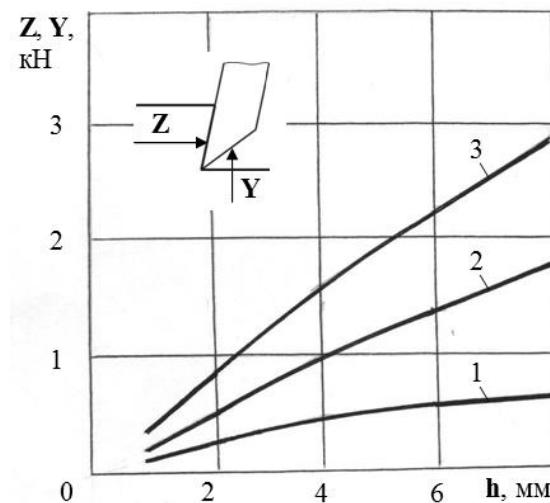


Рис. 4. Зависимости усилия подачи Y (1) и усилий резания Z (2, 3) на остром резце от глубины резания h

На рис. 5 представлены зависимости усилия подачи Y и резания Z при затуплении, изнашивании задней грани резца [19].

Из графиков на рис. 5 наглядно видно, что при интенсивном изнашивании задней грани резца образуется площадка S , влияющая на усилия Z и Y . При изменении величины кинематического заднего угла α_k резца с 7° до 2° усилие резания Z возрастает до 36 %, а усилие подачи Y резко увеличивается до 64 %. У резцов с углом α_k менее $5-7^\circ$ площадки износа задней грани резца развиваются более интенсивно, что сопровождается существенным увеличением нагрузок на резце. При α_k менее $5-7^\circ$ усилие подачи Y на резце больше усилия резания Z . С другой стороны при α_k более $5-7^\circ$ усилие резания Z превышает усилие подачи Y . Соотношение усилия подачи Y к усилию резания Z (рис. 5) целесообразно оценивать коэффициентом $K_p = Y/Z$. Например, для острого резца $K_p = 1,0-0,67$. Как показывают результаты исследований, для радиальных резцов коэффициент K_p имеет следующие значения: $K_p = 0,8$ (РПП-2), $K_p = 0,57$ (РК-8Б), $K_p = 0,88$ (И90МБ), $K_p = 0,62$ (ЗР2.80), $K_p = 0,85$ (ЗР4.80).

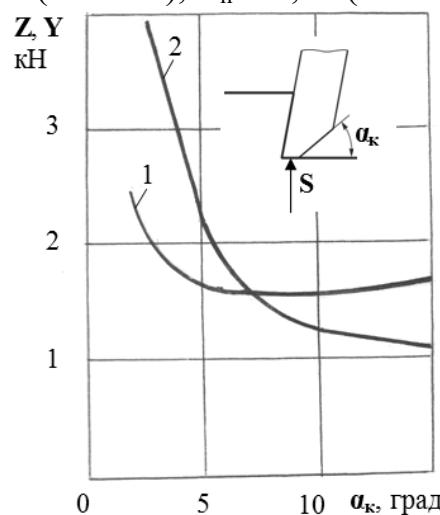


Рис. 5. Зависимости усилий резания Z (1) и подачи Y (2) от величины кинематического заднего угла α_k резца

Аналогичные результаты получены при варьировании боковых углов фрезы, которые позволили рекомендовать рациональное значение $\phi = 10-12^\circ$ и переднего угла $\gamma = 10-15^\circ$. Расчеты показали, что при коэффициенте трения о переднюю и боковые грани резца $\mu = 0,25$, дополнительное сопротивление подачи резца от сил трения угля о переднюю и боковые грани резца по величине небольшое, им можно пренебречь [19].

На рис. 6 приведена типичная осциллограмма процесса резания кембрийской глины ($A_p = 160$ Н/мм) эталонным резцом: ширина резца $b = 1$ см; угол резания $\delta = 60^\circ$; задний угол $\alpha = 10^\circ$. Резание глины производилось в эталонном режиме блокированного резания с выровненной поверхности [22].

При взаимодействии резца с соляными породами механизм их разрушения отличается от механизма разрушения углей в том, что при первоначальном контакте инструмента с породой она пластически деформируется. Далее происходит процесс дробления соляной породы на мелкие фракции (менее 0,25 мм) с образованием мелкодисперсного ядра перед передней гранью резца и в дальнейшем обеспечивает объемное скальвание породы. Как показали

исследования процесса разрушения глины резцами ШБМС-1-1-04, РК-8Б, РПП также как при резании угля, он является циклически повторяющимся с чередованием фаз контактного дробления и крупных сколов. При $h = 10$ мм максимальная длина крупных сколов составляла 70 мм. При резании глины нижняя поверхность прорезаемой канавки имеет прямолинейную форму, что объясняется высокой вязкостью кембрийской глины. В поперечном сечении сколы имеют форму трапеции с боковыми сторонами, соответствующими углам наклона боковых стенок канавок ($\psi = 70\text{--}75^\circ$) прорезаемых в хрупком угле. С изменением глубины резания h с 5мм до 15 мм, усилия резания Z глины возрастают в 3,5 раза. При глубине резания $h = 10$ мм и 15 мм средние усилия резания кембрийской глины составило $Z_{cp} = 0,2$ и $0,265$ кН, а максимальные – $Z_{max} = 0,52$ и $0,85$ кН.

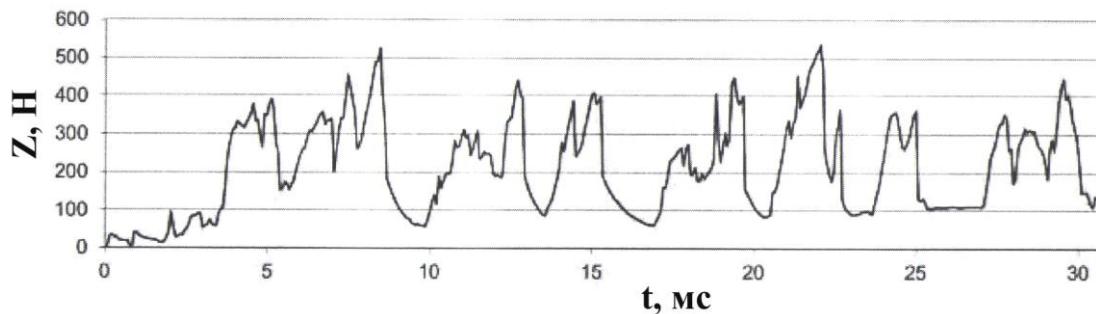


Рис. 6. Оциллограмма процесса резания кембрийской глины эталонным резцом

При выборе схемы расстановки режущего инструмента на исполнительном органе, при расчетах усилий резания и подачи, важное значение имеет параметр фактического удельного давления $P_{уд.} = Y/S$ на поверхности контакта S резца с разрушающим массивом, устанавливающего связь усилия подачи Y с площадью S проекции поверхности контакта резца с массивом перпендикулярной направлению подачи инструмента. Этот параметр определялся по экспериментальным данным, приведенным выше для 18 резцов.

В табл. 1 приведены, в качестве примера, результаты расчетов фактического удельного давления для условий резания угля, сильвинита и кембрийской глины при глубине стружки $h = 4$ мм четырьмя резцами.

Таблица 1

Фактические удельные давления при резании угля

Параметр	Марка резца			
	РК-8Б	РПП-2	ЗР1.80	И90МБ
K_p	0,6–0,8	0,7–0,8	0,5–0,6	0,5–0,6
S , см^2	2,5	4,24	3,34	2,76
$P_{уд.}$, $\text{kH}/\text{см}^2$	0,32	0,43	0,36	0,34

В табл. 2 приведены результаты расчетов фактического удельного давления для условий резания угля, сильвинита и кембрийской глины при глубине стружки $h = 4$ мм резцом РПП-2.

Таблица 2

Фактические удельные давления при резании угля, сильвинита, кембрийской глины и углецементного блока

Параметр	Разрушаемый массив			
	Уголь	Сильвинит	Кембрийская глина	Углецементный блок
$h = 4 \text{ мм}$				
$A_p, \text{Н/мм}$	200	370	160	240
$P_{уд.}, \text{кН/см}^2$	0,52	0,96	0,33	0,74
$h = 6 \text{ мм}$				
$A_p, \text{Н/мм}$	200	370	160	240
$P_{уд.}, \text{кН/см}^2$	0,48	0,86	0,27	0,7
$h = 8 \text{ мм}$				
$A_p, \text{Н/мм}$	200	370	160	240
$P_{уд.}, \text{кН/см}^2$	0,42	0,78	0,25	0,68

Расчетные данные показали, что при возрастании параметра сопротивляемости массива резанию A_p удельные давления $P_{уд.}$ возрастают, а с увеличением глубины резания h площадь S проекции поверхности контакта резца с массивом становится больше, что сопровождается уменьшением удельного давления $P_{уд.}$.

Список литературы:

- Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин : учеб. пособие / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов ; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 288 с.
- Узел крепления дискового инструмента на рабочем органе горного комбайна : пат. 141339 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 27/00 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014103560/03 ; заявл. 03.02.2014 ; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15.
- Дисковый инструмент проходческого комбайна: пат. 146845 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014109201/03 ; заявл. 11.03.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29.
- Исполнительный орган выемочно-проходческой горной машины : пат. 152701 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014144633/03 ; заявл. 05.11.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16.

5. Хорешок, А.А. Адаптация узлов крепления дискового инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов к монтажу и демонтажу / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 7. – С. 3–8.
6. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронок проходческого комбайна избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 5. – С. 2–6.
7. Маметьев, Л.Е. Улучшение процессов монтажа и демонтажа узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 23–26.
8. Маметьев, Л.Е. Направление повышения зарубной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 21–24.
9. Маметьев, Л.Е. Разработка устройства пылеподавления для реверсивных коронок проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 3. – С. 17–21.
10. Борисов, А.Ю. Напряжения в сопрягаемых элементах дисковых инструментов при разрушении проходческих забоев / А.Ю. Борисов, Л.Е. Маметьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №4. – С. 26–35.
11. Khoreshok A, Mametyev L, Borisov A, Vorobiev A. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders. Mining 2014. Taishan academic forum - project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. pp. 177–183.
12. Khoreshok A.A., Mametev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms. Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 770. C. 429–433.
13. Khoreshok A.A., Mametev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. Stress state of disk tool attachment points on tetrahedral prisms between axial bits. Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 770. C. 434–438.
14. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. The distribution of stresses and strains in the mating elements disk tools working bodies of roadheaders. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. V. 91. p. 012084.
15. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. Influence of the rigid connection between discs in the tetrahedral prisms on equivalent stresses when cutting work faces. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 127. p. 012039.

16. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 1. Опыт производства и развития : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 213 с.
17. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 2. Эксплуатация и диагностика : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 281 с.
18. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 3. Выбор и обоснование рабочих параметров двухкорончатых реверсивных исполнительных органов : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин и др. ; Кузбасский государственный технический университет, Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 136 с.
19. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами / под ред. Е.З. Позина. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
20. Цехин, А.М. Исследование и выбор схем разрушения и режущего инструмента расширителей буро-сбоечных машин для бурения скважин в условиях шахт Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.М. Цехин. – Кемерово, 1974.
21. Харламова, Н.А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резцовым инструментом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.А. Харламова. – Пермь, 1998.
22. Лавренко, С.А. Обоснование параметров исполнительных органов комплекса для проведения вспомогательных выработок в условиях кембрийских глин: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.А. Лавренко. – Санкт-Петербург, 2014.