

УДК 622. 232. 71

Е.Н. Бойко (канд. техн. наук, доц.)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ФОРМИРОВАНИЕ СОРТОВОГО СОСТАВА УГЛЯ

В работе определены некоторые параметры разрушения угольного массива и показано формирование гранулометрического состава угля при добыче его резцами с рабочей боковой гранью при последовательном и шахматном резе. Также определено, что формирование сортового состава угля при разрушении пластов сложной структуры является случайным процессом, распределение вероятностей которого не противоречит нормальному закону и на который оказывает влияние расположение прослойка по высоте (мощности) пласта, его мощность, тип породы и т.д.

Ключевые слова: разрушение, пласт, боковая грань, режущий инструмент, последовательный рез, шахматный рез, гранулометрический состав, случайный процесс.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Формирование сортового состава угля при добыче его очистными комбайнами является одной из основных задач угольной промышленности [1]. А режущий инструмент, способствующий улучшению сортового состава угля – перспективное направление в угольном машиностроении. Разработанный режущий инструмент с рабочей боковой гранью отличается от режущего инструмента существующей конструкции одной принципиальной особенностью, а именно: разрушение пласта производится путем создания в его массиве сложного объемного комбинированного напряженного состояния, сочетающего напряжения сжатия и сдвига. При этом напряжение сжатия в массиве создаются теми же передней и задней гранями, напряжение сдвига – рабочей боковой гранью. Поскольку сопротивление горных пород, в том числе и угля разрушению сдвигом значительно (примерно на порядок) ниже сопротивления разрушению сжатием, процесс разрушения угля резцом с рабочей боковой гранью, как показали исследования, менее энергоемок. Поэтому процессы, происходящие при формировании сортового состава угля, являются достаточно сложными и требуют своего разрешения при рассмотрении вопросов, связанных с добычей угля резцами с рабочей боковой гранью.

Постановка задачи. Установка режущего инструмента с рабочей боковой гранью на рабочем органе должна быть таковой, при ко-

торой его рабочая боковая грань должна всегда находиться со стороны вновь обнаженной поверхности, образованной впереди расположенным резцом, как показано на рис. 1.

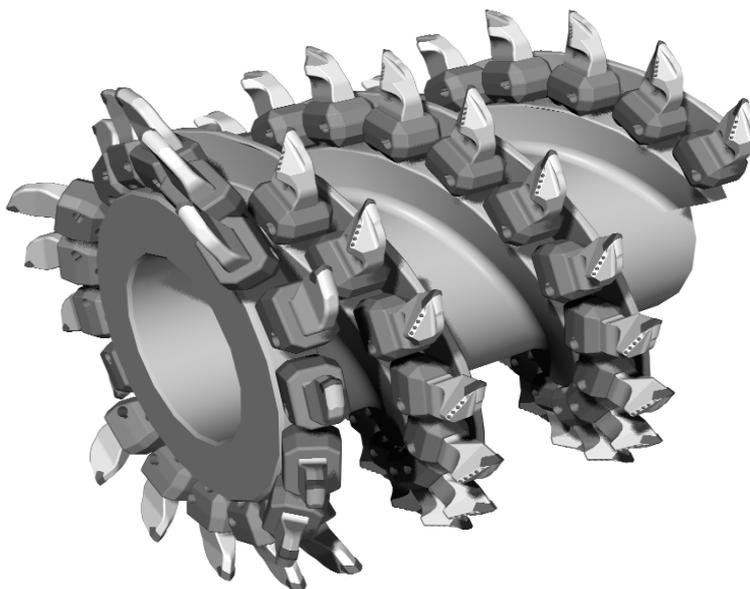


Рис. 1. Схема расположения режущего инструмента с рабочей боковой гранью на шнеке

При этом кутковая группа резцом может состоять как из резцов существующей конструкции, так и резцов с рабочей боковой гранью. Необходимым условием для эффективного разрушения пласта является такое расположение резцов, при котором всегда создавался бы опережающий вруб, т.е. начальная дополнительная обнаженная поверхность. В качестве режущего инструмента для создания опережающего вруба должен использоваться режущий инструмент или существующей конструкции, или аналогичный ему по конструкции и параметрам.

Теоретически разрушение пласта рабочим органом, оснащенным режущим инструментом с рабочей боковой гранью, может производиться как по схеме последовательного, так и шахматного реза.

Изложение материала и результаты.

1. Сортной состав угля при разрушении пласта резцами с рабочей боковой гранью

Разрушение пласта по схеме последовательно реза происходит при двух и более резцах в линии резания. При этом каждым резцом рабочего органа разрушается часть пласта объемом

$$\begin{aligned}
 V_{p\bar{\sigma}}(\varphi) &= k_t l_{\bar{\sigma}} h_{\max} t_y \sec \beta \sin \varphi = V_{p\bar{\sigma} \max} \sin \varphi, \\
 V_{p\bar{\sigma} \max} &= k_t l_{\bar{\sigma}} h_{\max} t_y \sec \beta.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Величина разрушаемого каждым резцом рабочего органа объема изменяется от 0 до $V_{p\bar{\sigma} \max}$ при изменении угла его поворота от 0 до $\pi/2$ и от $V_{p\bar{\sigma} \max}$ до 0 при изменении угла поворота от $\pi/2$ до π . При этом разрушение (сдвиг) этого объема происходит по площади $S_{\bar{\sigma}cd} = k_t l_{\bar{\sigma}} t_y \sec \beta$, максимально возможная, т.е. предельная длина скола, обусловленная разрушением пласта режущим инструментом, может составлять $l_{\bar{\sigma} \max} = k_t t_y \sec \beta$. Фактическое разрушение указанного объема угля будет происходить с параметрами, которые обусловлены трещиноватостью массива пласта, сопротивляемостью угля резанию в месте установки резца и других указанных выше факторов, большинство из которых являются случайными.

Для характеристики гранулометрического состава разрушенного рабочим органом угля введем понятие «медианный диаметр» условного шара, объем которого равен объему разрушаемого каждым резцом угля

$$d_{m\bar{\sigma}}(\varphi) = 1,82 \cdot \sqrt[3]{1/\pi V_{p\bar{\sigma} \max} \sin \varphi}. \tag{2}$$

Величина этого параметра изменяется от 0 до $d_{m\bar{\sigma} \max}$ и от $d_{m\bar{\sigma} \max}$ до 0 при изменении угла поворота органа (резца) соответственно от 0 до $\pi/2$ и от $\pi/2$ до π . Характер медианного диаметра, который обусловлен многими факторами и большинство из которых являются случайными, будет случайным. Несмотря на то, что составляющие медианного диаметра подчиняются различным законам распределения вероятностей, при совместном их проявлении в пространстве и во времени, что и имеет место при разрушении пласта режущим инструментом, согласно центральной предельной теореме [2], будет подчиняться нормальному закону распределения вероятностей. Поэтому в дальнейшем, как и раньше, для характеристики гранулометрического состава угля, разрушенного рабочим органом, оснащенного режущим инструментом с рабочей боковой гранью, будем считать медианный диаметр гранул нормально распределенной случайной величиной с плотностью распределения вероятностей

$$f(d_{m\bar{\sigma}}) = \frac{1}{\sigma_{d_{m\bar{\sigma}}} \sqrt{2\pi}} \exp[-0,5(d_{m\bar{\sigma}} - \bar{d}_{m\bar{\sigma}})^2 / \sigma_{d_{m\bar{\sigma}}}^2] \tag{3}$$

с параметрами:

- математическое ожидание

$$\bar{d}_{m\bar{\sigma}} = 1/2 d_{m\bar{\sigma}\max} = 0,9 \cdot \sqrt[3]{k_t l_{\bar{\sigma}} h_{\max} t_y \sec \beta},$$

- среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_{d_{m\bar{\sigma}}} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{k_t l_{\bar{\sigma}} h_{\max} t_y \sec \beta}.$$

Сравнивая полученную выше (2) зависимость для медианного диаметра при последовательном резе резцами существующей конструкции с медианным диаметром для такого же реза резцами с рабочей боковой гранью для максимальных их значений, будем иметь

$$\mu_{d_{m\max}} = \frac{0,9 \cdot \sqrt[3]{1/\pi k_t l_{\bar{\sigma}} h_{\max} t_y \sec \beta}}{\sqrt{1/\pi h_{\max} t_y}}. \quad (4)$$

Для принятых параметров схемы набора режущего инструмента существующей конструкции очистных комбайнов, например, типа 1К-101, К-103 и режима их работы, при котором максимальная толщина среза составляет, например, 3 см (скорость перемещения комбайна 4,8 м/мин), и параметрах режущего инструмента с рабочей боковой гранью: $l_{\bar{\sigma}} = 45$ мм, $\beta = 45^\circ$, получаем $\mu_{d_{m\max}} \cong 1,7$. Для этих же параметров и режима работы комбайна отношения математических ожиданий и среднеквадратичного отклонения медианных диаметров, соответственно, составляют 1,7 и 1,6 раза. Тогда вероятный гранулометрический состав угля оценочно будет:

- при разрушении существующим режущим инструментом

Размер гранул, мм	0 - 7	7 - 14	14 - 21	21 - 28	28 - 35	35 - 42
Вероятность, %	2	14	34	34	14	2

- при разрушении резцами с рабочей боковой гранью

Размер гранул, мм	0 - 11	11 - 22	22 - 33	33 - 44	44 - 55	55 - 66
Вероятность, %	2	14	34	34	14	2

Перейдя к принятой градации гранулометрического состава угля, получим:

Размер гранул, мм	0 - 6	6 - 13	13 - 18	18 - 25	25 - 50	50 - 100
-------------------	-------	--------	---------	---------	---------	----------

- при разрушении существующим режущим инструментом

Вероятность, %	2	16	28	34	20	-
----------------	---	----	----	----	----	---

- при разрушении резцами с рабочей боковой гранью

Вероятность, %	1	4	9	25	52	9
----------------	---	---	---	----	----	---

Откуда следует, что применение режущего инструмента с рабочей боковой гранью значительно улучшает гранулометрический (сортовой) состав добытого угля современными очистными комбайнами.

С учетом гранулометрического состава (штыба, размер гранул 0 - 6 мм) угля, разрушаемого резцами кутковой группы, вероятный гранулометрический состав угля оценочно будет:

Размер гранул, мм	0 - 6	6 - 13	13 - 18	18 - 25	25 - 50	50 - 100	св. 100
----------------------	-------	--------	---------	---------	---------	----------	---------

- при разрушении существующим режущим инструментом

Вероятность, %	22	13	22	27	16	-	-
----------------	----	----	----	----	----	---	---

- при разрушении резцами с рабочей боковой гранью

Вероятность, %	21	3	7	20	42	7	-
----------------	----	---	---	----	----	---	---

Разрушение пласта по схеме шахматного реза резцами с рабочей боковой гранью, очевидно, является не рациональным. Это обусловлено следующими обстоятельствами. Во-первых, определяемые расчетом и многократно проверенные и подтвержденные на практике значения ширины среза составляют 40-55 мм у комбайнов, которые оснащаются режущим инструментом существующей конструкции (резцы типа ЗР4-80). Для резцов с рабочей боковой гранью даже при сохранении тех же основных положений, которые использованы при определении ширины среза для резцов существующей конструкции, практически удваиваются и составляют 80-110 мм. При шахматном резе фактическая ширина среза удваивается и составляет 160-220 мм. Это, вероятно, приведет к режиму заблокированного реза, самого невыгодного разрушения пласта как с силовых (заклинивание инструмента), энергетических параметров (высокие удельные затраты энергии), так и износу и прочности инструмента. Значительное увеличение ширины среза (или шага установки) резцов обуславливает значительное уменьшение режущего инструмента на рабочем органе, а это в свою очередь приведет к увеличению неравномерности формирующейся на органе нагрузки и, как следствие, – к увеличению неравномерности нагрузки комбайна в целом. В этой связи вопрос о формировании гранулометрического состава угля при разрушении пласта рабочим органом комбайна, оснащенного режущим инструментом с рабочей боковой гранью, в работе не рассматривался.

Таким образом, разработанная математическая модель процесса формирования гранулометрического состава угля при разрушении

пласта рабочим органом очистного комбайна, оснащенного режущим инструментом с рабочей боковой гранью, представляет собой случайную величину с распределением вероятностей, не противоречащего нормальному закону, и является адекватной реальному процессу его формирования для рассматриваемых исполнительных органов и очистных комбайнов.

2. Особенности формирования гранулометрического состава угля при разрушении пластов сложного строения

Большинство (68%) пластов Донбасса сложного строения, которые содержат прослойки породы (до 10% от мощности пласта) и твердые минеральные включения в виде пирита, кварцита, сернистого колчедана и др. Расположение прослоек по высоте (мощности пластов), как показали исследования [3], практически равномерное, расположение твердых включений – случайное. Наиболее распространенными породами прослоек являются: углистые сланцы, аргиллит и алевролит, сопротивляемость резанию которых соизмерима с сопротивляемостью угля резанию.

При расположении прослойка мощностью H_{np} в верхней или нижней части (у кровли или у почвы) пласта угол поворота органа, на протяжении которого производится его разрушение составляет:

$$\varphi_{np} = \arccos\left(1 - \frac{2H_{np}}{D_{op}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{2\delta H}{D_{op}}\right), \quad (5)$$

где δ – относительная величина мощности прослойка от мощности пласта H .

Тогда величина медианного диаметра гранул пород разрушаемого прослойка будет:

- при разрушении резцами существующей конструкции

$$d_{m,np} = 2\sqrt{1/\pi h_{\max} t_y \sin \varphi_{np}}, \quad (6)$$

- при разрушении резцами с рабочей боковой гранью

$$d_{m\sigma}^{np} = 1,82 \cdot \sqrt[3]{1/\pi k_t l_{\sigma} h_{\max} t_y \sec \beta \sin \varphi_{np}}. \quad (7)$$

И в том и в другом случае, т.е. при разрушении пласта рабочим органом комбайна, оснащенным как резцами существующей конструкции, так и резцами с рабочей боковой гранью на формирования гранулометрического состава разрушенной породы прослойка оказывает влияние много факторов. К ним, например, относятся как распо-

ложение и мощность прослойка, тип и структура породы, сопротивляемость ее резанию и ряд других, большинство из которых являются случайными. Поэтому есть все основания считать, что при совмещенном в пространстве и во времени их проявлении, распределение вероятностей медианного диаметра гранул породы, а следовательно, и гранулометрического ее состава не противоречит закону Гаусса,

$$f(d_{m.np}) := N\{\bar{d}_{m.np}, \sigma_{d_{m.np}}\}, \quad f(d_{m\sigma}^{np}) := N\{\bar{d}_{m\sigma}^{np}, \sigma_{d_{m\sigma}^{np}}\} \quad (8)$$

с параметрами:

- математическое ожидание

$$\bar{d}_{m.np} = \sqrt{1/\pi h_{\max} t_y}, \quad \bar{d}_{m\sigma}^{np} = 0,9 \cdot \sqrt[3]{1/\pi k_t l_{\sigma} h_{\max} t_y \sec \beta},$$

- среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_{d_{m.np}} = 0,33 \sqrt{1/\pi h_{\max} t_y}, \quad \sigma_{d_{m\sigma}^{np}} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{1/\pi k_t l_{\sigma} h_{\max} t_y \sec \beta},$$

При мощности прослойка породы, например, 5 см, режиме работы комбайна, при котором толщина среза составляет 2 см и других параметрах, принятых у современных очистных комбайнов, математическое ожидание $d_{m.np} = 2,35$ см и $d_{m\sigma}^{np} = 4,72$ см. Тогда, согласно расчету, вероятное распределение гранулометрического состава разрушенной породы прослойка будет:

- примерно 25-27 % штыба (0-6 мм) и 32-35 % гранул класса 6-13 мм в первом случае,

- примерно 22-23 % штыба и 12-15 % гранул класса 6-13 мм во втором случае.

Наличие большого объема мелких фракций породы в разрушенном угле значительно затрудняет впоследствии его обогащение. Существующие в настоящее время обогатительные машины и процессы практически не могут обогащать смешанные мелкие фракции угля и породы. Поэтому этот уголь используется необогащенным.

В случае присечки вмещающих пород с целью обеспечения так называемой вписываемости механизированной крепи в пласт разрушение их происходит, как правило, при незначительных сечениях среза, а следовательно, и малых медианных диаметрах гранул, что обуславливает значительное количество горной массы мелких фракций с вытекающими отсюда последствиями при ее обогащении.

При расположении прослойка по середине мощности пласта площадь сечение среза или объем, разрушаемый резцами, равны мак-

симальным их значениям. Поэтому гранулометрический (сортовой) состав породы разрушенного прослойка в этом случае улучшается. Так, для рассматриваемого выше примера $S_{cp.max} = 9 \text{ см}^2$ и $V_{p.max} = 115 \text{ см}^3$, а вероятный фракционный состав породы прослойка с учетом породы, разрушенной резцами кутковой группы, составляет: 18-20 % штыба и 12-13 % гранул класса 6-13 мм в первом и 17-19 % штыба и 9-11 % гранул класса 6-13 мм во втором случае. При этом, следует отметить, происходит значительное увеличение относительного объема гранул крупных классов, особенно, во втором случае, т.е. при разрушении пласта рабочим органом, оснащенным резцами с рабочей боковой гранью.

При разрушении прослоек, состоящих из углистых сланцев, представляющих собой ярко выраженную слоистую структуру толщиной слоя, изменяющегося в пределах нескольких миллиметров (обычно 3-7 мм), довольно хрупкого материала, максимальные размеры его при разрушении режущим инструментом обуславливаются параметрами резания. Тот фракционный состав углистых сланцев, который получается после погрузки его исполнительным органом комбайна на конвейер и транспортировки конвейером по лаве, относится, как правило, к мелким фракциям – порядка 0 - 13 мм.

Практически все пласты сложного строения содержат твердые минеральные, как правило, не прорезаемые из-за очень высокой сопротивляемости резанию включения. Для угольных пластов Донбасса удельное содержание твердых включений достигает 0,4 % при следующих их параметрах: площадь – 5-150 см^2 , длина – 5-25 см, высота – 1-6 см, число включений – от 10 до 120 на 100 м длины лавы. Из этого следует, что встреча режущего инструмента с твердым включением относится к классу так называемых редких явлений. Это обусловлено как их незначительным объемом и незначительными размерами относительно параметров лавы и исполнительного органа комбайна, так и тем, что наличие в пласте твердых включений не является полной гарантией того, что режущий инструмент обязательно с ним должен встретиться. Это особенно относится к резцам с рабочей боковой гранью, ширина среза которых значительно больше ширины среза резцами существующей конструкции и составляет в среднем 90-110 мм.

Вероятность встречи резца с твердым включением, относящаяся к редким явлениям, с достаточной для практики и понимания физиче-

ской картины процесса точностью может быть описана законом Пуассона [1]

$$P_n = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda}, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (9)$$

где λ – математическое ожидание.

Характерной особенностью закона Пуассона является то, что для него математическое ожидание и дисперсия случайной величины равны между собой [1], т.е.

$$M\{CB\} = D\{CB\} = \lambda. \quad (10)$$

Здесь CB – случайная величина.

Если математическое ожидание (средняя величина) числа твердых включений на 1 м длины лавы составляет κ_m , то вероятность хотя бы одной встречи резца с твердым включением

$$P_1 = \kappa_m e^{-\kappa_m}. \quad (11)$$

Так, например, для максимальной величины математического ожидания числа твердых включений, получаемого из приведенного выше среднего числа твердых включений на 100 м лавы, и равного $1,2 \text{ м}^{-1}$ вероятность хотя бы одной встречи резца с твердым включением на протяжении 1 м лавы составит 0,36.

Аналогично можно определить вероятность других характеристик или параметров твердых включений, например, расположение их по мощности пласта, габаритов и т.д.

Наличие твердых включений в пласте еще не является гарантией того, что режущий инструмент обязательно должен с ними встретиться. Это относится в первую очередь к резцам с рабочей боковой гранью, параметры разрушения пласта которыми соизмеримыми и даже больше параметров (размеров) твердых включений или при разрушении пласта рабочим органом по схеме шахматного реза для резцов существующей конструкции. Это, собственно, и подтверждается приведенной величиной вероятности встречи резца с твердым включением на протяжении 1 м лавы.

При встрече резца с твердым включением последнее или выбивается из пласта, или происходит опрокидывание двигателя (или двигателей при многодвигательном приводе) исполнительного комбайна в зависимости от параметров твердого включения. И в том, и в другом случаях часть или практически вся энергия вращающихся элементов привода исполнительного органа и ротора двигателя (двигателя

телей) расходуется на дополнительную деформацию системы привода и, как следствие, обуславливает увеличение нагрузки этой системы, происходит так называемый выброс нагрузки выше установленного для нормального режима работы комбайна уровня. Указанные явления, хотя и относятся к редким явлениям (малая вероятность встречи), являются, однако, важными для прочности указанных элементов конструкции и практически не оказывают влияния на процесс формирования гранулометрического (сортового) состава разрушенного рабочим органом комбайна угля.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Таким образом, из изложенного выше следует: формирование гранулометрического состава угля при разрушении пластов сложной структуры является случайным процессом. Особенностью этого процесса является разрушение породы и формирование ее гранулометрического состава и встречи резцов с твердыми не прорезаемыми режущим инструментом включениями. Установлено, что процесс формирования гранулометрического состава разрушаемой породы прослойков является случайным, распределение вероятностей которого не противоречит нормальному закону и на который оказывает влияние ряд факторов и в первую очередь – расположение прослойка по высоте (мощности) пласта, его мощность, тип породы и т.д. Имеющие место выбросы нагрузки, обусловленные встречей режущего инструмента с твердыми не прорезаемыми твердыми включениями, практически не оказывают влияния на формирования гранулометрического (сортового) состава угля при разрушении пластов сложного строения исполнительными органами современных очистных комбайнов.

Список литературы

1. Статистические и аналитические материалы Минуглепрома Украины. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mvp.gov.ua/mvp/control/uk/hublish/category?catid=52294>.
2. Позин Е.З. Сопrotивляемость углей разрушению режущими инструментами / Е.З.Позин.– М.: Наука, 1972. – 240 с.
3. Протодьяконов М.М. Исследование хрупкости и пластичности углей / М.М. Протодьяконов // Разрушение углей и пород.– М.: Углетехиздат, 1968. – С. 3 – 10.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2011

Є.М. Бойко. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Формування сортового складу вугілля

У роботі визначено деякі параметри руйнування вугільного масиву і показано формування гранулометричного складу вугілля при видобутку його різцями з робочою боковою гранню при послідовному та шаховому різі. Також визначено, що формування сортового складу вугілля при руйнуванні пластів складної структури є випадковим процесом, розподіл ймовірностей якого не суперечить нормальному закону і на який впливає розташування прошарку по висоті (потужності) пласта, його потужність, тип породи і т.д.

Ключові слова: руйнування, пласт, бічна грань, ріжучий інструмент, послідовний різ, шаховий різ, гранулометричний склад, ймовірний процес.

Ye. Boyko. Donetsk National Technical University, Donetsk

Formation of High-quality Coal Composition

The paper identifies some parameters of coal massif destruction and considers the formation of coal granulometric composition when using cutters with working lateral face in sequential and chess cutting. We also found out that coal composition formation in the process of complicated seams destruction is a random process, its probability distribution does not contradict the normal law and it is influenced by the location of the interlayer, seam thickness, type of rock, etc.

Keywords: destruction, layer, lateral side, cutting tool, sequential and chess cutting, granulometric composition, random process.